



Document Summary



New
Search



Help

[Preview Claims](#)

[Preview Full Text](#)

[Preview Full Image](#)

Email Link: 

Document ID: JP 09-252283 A2

Title: WAVELENGTH MONITOR

Assignee: NIPPON TELEGR & TELEPH CORP

Inventor: TEJIMA MITSUHIRO
KOGA MASABUMI

US Class:

Int'l Class: H04B 10/08 A; H04B 03/46 B; H04J 01/00 B

Issue Date: 09/22/1997

Filing Date: 03/14/1996

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To allow a wavelength monitor to monitor altogether wavelength multiplex lights with different wavelength bands at output transmission line fibers independently of the wavelength path(WP) system or the virtual wavelength path (VWP) system.

SOLUTION: A wavelength monitor 200 is arranged to each output of an optical path cross connect 100. In the case of the WP system (transmission by the same wavelength) with a wavelength group transmission capacitor 102 of the optical path cross connect, each wavelength transmission section OS outputs each different wavelength light corresponding to an input wavelength light branched by a wavelength demultiplexer W-D. In the case of the VWP system (wavelength is replaced for each node for the same optical path), each wavelength transmission section OS outputs a wavelength light not always coincident with the input wavelength light. The wavelength light outputs are given to a confluent switch 103, by which the path is selected and the lights are synthesized by a star coupler SC. The output of the optical path cross connect is outputted to one output transmission path fiber 120 by a different wavelength at all times independently of the WP system or the VWP system and the output light is given to the wavelength monitor 200.

(C)1997,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-252283

(43)公開日 平成9年(1997)9月22日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/08			H 0 4 B 9/00	K
			3/46	B
H 0 4 J 1/00			H 0 4 J 1/00	

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 29 頁)

(21)出願番号 特願平8-58037

(22)出願日 平成8年(1996)3月14日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 手島 光啓

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 古賀 正文

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

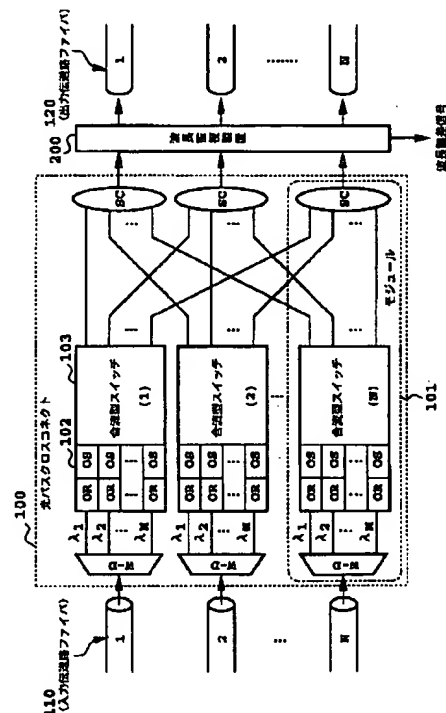
(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54)【発明の名称】 波長監視装置

(57)【要約】

【課題】 WP方式、VWP方式のいずれに関わらず出力伝送路ファイバ側の異波長の波長多重光を波長監視装置で一括監視する。

【解決手段】 波長監視装置200を光パスクロスコネク100の各出力側に配備する。光パスクロスコネク100の波長群送出部102においてWP方式(同一の波長で伝送)の場合には、各波長送出部OSは波長デマルチプレクサW-Dにより分波した入力波長光に対応した各々異なる波長光を出力する。VWP方式(同一の光パスをノード毎に波長を入れ換える)の場合には、各波長送出部OSは入力波長光と必ずしも一致しない波長光を出力する。波長光出力は合流型スイッチ103によって経路選択され、スターカプラSCで合波される。光パスクロスコネク100の出力はWP方式、VWP方式のいずれに関わらず、一つの出力伝送路ファイバ120に対しては常に異なる波長で出力され、この出力光は波長監視装置200に入力される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光パスクロスコネク装置の出力側の伝送路出力光ファイバに挿入され、該光パスクロスコネク装置の出力光の一部を分岐する分岐手段と、該分岐手段の出力を入力し、該出力の各波長と基準波長との波長誤差を出力する波長誤差出力手段とを具備することを特徴とする波長監視装置。

【請求項2】 光パスクロスコネク装置の出力側の複数の伝送路出力光ファイバに挿入され、それぞれ該光パスクロスコネク装置の出力光の一部を分岐する複数の分岐手段と、該複数の分岐手段の出力の内の1つを選択して出力する光スイッチ手段と、該光スイッチ手段の出力を入力し、該出力の波長と基準波長との波長誤差を出力する波長誤差出力手段とを具備することを特徴とする波長監視装置。

【請求項3】 請求項1または2に記載の装置において、前記光パスクロスコネク装置の光パス接続状態に基づいて該光パスクロスコネク装置内から制御対象たる光源を決定する光源決定手段と、該光源決定手段の出力に応じて前記波長誤差出力手段の前記出力を該当の光源へ接続する接続制御手段とを具備することを特徴とする波長監視装置。

【請求項4】 請求項1ないし3のいずれかに記載の装置において、前記波長誤差出力手段は、あらかじめ定められた波長を有する基準波長光に基づいて、複数のチャンネルの透過中心波長を制御しつつ、前記チャンネルから出力される波長多重光の個々の信号光 S_k ($k=1-N$: N は正の整数)の波長誤差を同時に監視する波長誤差出力手段であって、前記基準波長光および波長多重光が入力されたときに、前記基準波長光の少なくとも一部を出力する少なくとも1つの第1のチャンネルと、前記信号光 S_k について、少なくともその一部を出力する少なくとも1つの第2のチャンネルとを備えたアレイ導波路格子と、前記第1のチャンネルから出力された基準波長光を検出する第1の受光手段と、前記第2のチャンネルから出力された信号光 S_k を検出する第2の受光手段と、前記第1の受光手段の出力に基づいて、前記第1のチャンネルの透過中心波長を安定化する制御手段と、前記第2の受光手段の出力に基づいて、前記信号光 S_k の波長誤差を表す誤差信号を出力する波長誤差検出手段とを具備することを特徴とする波長監視装置。

【請求項5】 請求項4に記載の装置において、前記制御手段は、前記第1のチャンネルから、変調された基準波長光が出力されるような変調を与える変調手段と、

前記第1の受光手段の出力信号を同期検波する第1の同期検波器と、

前記第1の同期検波器の出力に基づいて、前記基準波長光の波長の波長誤差を検出する第1の検出器とを備え、前記第1の検出器の出力に基づいて、前記第1のチャンネルの透過中心波長を安定化することを特徴とする波長監視装置。

【請求項6】 請求項4に記載の装置において、前記アレイ導波路格子は、前記基準波長光に対応する2つの前記第1のチャンネルと、前記信号光 S_k に対応する2つの前記第2のチャンネルとを有し、前記波長監視装置はさらに、前記第1のチャンネルから出力された2つの出力光の強度を比較する第1の比較手段と、前記第2のチャンネルから出力された2つの出力光の強度を比較する第2の比較手段とを具備し、前記制御手段は、前記第1の比較手段の出力に基づいて、前記第1のチャンネルの透過中心波長を安定化し、前記波長誤差検出手段は、前記第2の比較手段の出力に基づいて、前記信号光 S_k の波長誤差を検出することを特徴とする波長監視装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、主として波長多重通信に用いられる波長監視装置に関し、特に光パスクロスコネクにおいて複数波長を一括して監視でき、波長送出部の波長を制御することも可能な波長監視装置に関する。

【0002】

【従来の技術】波長多重通信で使用される光源は、主に半導体レーザであるが、その発振波長は、エージングや温度変化によって変動する。そのため、複数の半導体レーザの波長を同時に、かつ正確に測定する装置が必要である。

【0003】波長多重光の各波長を監視する従来の波長監視装置は、掃引型光フィルタ（例えば掃引型ファブリペロー干渉計）の透過中心波長を時間的に掃引し、波長誤差を時間領域に変換して波長弁別を行う構成になっている。また複数の異なる波長で発振している半導体レーザの出力光を波長多重して波長弁別を行なっている。

【0004】図1は、従来の波長監視装置の構成例を示す（水落、その他、「2電極 MQWDFB-LDを用いた622Mbit/s-16ch FDMコヒーレント光伝送システム」、信学論(B-I), Vol. J77-B-1, No. 5, pp. 294-303, 1994)。

【0005】図1において、基準波長光 R と波長多重光 M は、光コプラ71で多重されて掃引型ファブリペロー干渉計72に入力される。掃引型ファブリペロー干渉計72は、発振器75に同期した鋸波発生器76で発生す

る鋸波(図2(a))で掃引され、その透過中心波長に一致する波長の光が光検出器73に受光される。光検出器73の出力パルス(図2(b))は、微分器78でそのピーク位置が微分検出され(図2(c))、サンプリング回路79でそのピーク位置に対応するサンプリングパルス(図2(d))に変換される。このサンプリングパルスと発振器75の出力信号(図2(e))は同期検波器80に入力され、その出力がサンプルホールド回路81に入力される。鋸波と発振器75の出力信号は同期しているので、サンプリングパルスで発振器75の出力信号の位相を検波し、サンプルホールド回路81でその検波出力を保持することにより誤差信号(図2(f))を得ることができる。セクタ74は、基準波長光Rおよび波長多重光Mの各波長と、掃引型ファブリペロー干渉計72の透過中心波長との相対波長誤差信号を逐次切り替えて出力する。

【0006】基準波長光Rに対応する誤差信号は、加算器77で鋸波発生器76から出力される鋸波に加算して掃引型ファブリペロー干渉計72に印加され、基準波長光Rに対応する光検出器73の出力パルスの位置が規定の位置にくるように制御される。これにより、掃引型ファブリペロー干渉計72の透過中心波長を基準波長光Rの波長に安定化することができ、周辺温度の変動に対する温度補償機能をもたせることができる。

【0007】また、波長多重光Mの各波長に対応する誤差信号を波長多重光Mの各光源に負帰還し、その注入電流または温度を制御することにより波長多重光Mの波長安定化を図ることができる。

【0008】以上示した従来構成に用いられる掃引型ファブリペロー干渉計は、圧電素子によって共振器長を掃引する機構が必要であるものの、比較的簡単な光学回路で実現できる。また、掃引型ファブリペロー干渉計の透過中心波長および通過帯域幅を適宜選択することにより、所望の分解能で広範囲の波長変化を監視できる利点がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述のような従来技術によって示される波長監視装置の構成は、すべて波長の異なる複数波長の半導体レーザ(以下、波長群送出部という)の波長を制御するものである。しかしながら、このような従来構成を光パスクロスコネクに適用する際には下記のような問題が生じる。

【0010】図3は光パスクロスコネクの構成を説明する図である(A. Watanabeその他, "Optical path cross-connect node architecture with high modularity for photonic transport networks(光波長伝達網のためのモジュール性に富む光パスクロスコネクのノードの構成法)", IEICE Trans. Commun., Vol. E77-B, No. 10, p. 1220-1229, 1994.)。

【0011】図3に示した光パスクロスコネク100

は光波長伝達網を構成する複数N本(Nは2以上の整数)の入力伝送路ファイバ110と光波長伝達網を構成する複数N本の出力伝送路ファイバ120との間に結合する複数N個のモジュール101を有する。この各モジュール101はそれぞれW-Dで示した単一の波長デマルチプレクサ(波長多重分離装置)、ORで示した複数M個の波長受信部(オプティカルレシーバ)、OSで示した複数M個の波長送出部(オプティカルセンダー)、単一の合流型スイッチ(Delivery and coupling switch)103、およびSCで示した単一のスターカプラとから構成される。

【0012】波長デマルチプレクサW-Dは入力伝送路ファイバ110から導入された光信号を複数M個の波長 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_M に分波する。分波されたこれら入力波長光のそれぞれに波長受信部ORが接続し、各波長受信部ORにそれぞれに波長送出部OSが結合している。波長送出部OSは、固定波長(WP)方式のものと、チューナブル波長(VWP)方式のものいずれでも良く、複数のこれら波長送出部OSにより波長群送出部102が構成される。波長群送出部102において、WP方式を用いた場合には波長送出部OSの波長は図の上から λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_M で存在し、VWP方式を用いた場合には波長送出部OSの波長は適宜、同一波長が複数存在する。

【0013】合流型スイッチ103は上記各波長送出部OSと個別に接続する複数M本(Mは2以上の整数)の入力伝送路ファイバ、および自身のモジュールのスターカプラSCと他の全てのモジュールのスターカプラSCにそれぞれ結合する複数N本の出力伝送路ファイバとをその内部に有する。図4にこの合流型スイッチ103の構成を示す。図4に示すように、この合流型スイッチ103はM個の上記入力伝送路ファイバにそれぞれ並列に接続するN群の(すなわちM×N個の)経路選択用の1×2スイッチと、これら1×2スイッチの出力に対しその群ごとに並列に接続するN個のスターカプラとからなる。この各スターカプラの波長光出力は内部の上記出力伝送路ファイバを介して図3のスターカプラSCにそれぞれ接続することで、合波される。各スターカプラSCはそれぞれ対応する出力伝送路ファイバ120に結合する。

【0014】上述のような構成であるので、図3に示した光パスクロスコネクは、光波長伝達網の柔軟な利用に適用可能なように光パスの始点から終点までを同一の波長で伝送する方式(Wavelength Path: WP方式)とノード内において波長変換を行なう(同一の光パスをノード毎に波長を入れ換える)方式(Virtual Wavelength Path: VWP方式)の両方に適用できる。

【0015】しかし、VWP方式の光パスクロスコネクでは波長群送出部の出力は必ずしも全て異なる波長であるとは限らない構成のため、すべて異なる波長の波長群送

出部を監視対象とする従来の波長監視装置の構成ではVWP方式の光パスクロスコネクに波長監視装置を適用することは不可能であった。

【0016】本発明は上述の点に鑑みてなされたもので、その目的はWP方式およびVWP方式のいずれの場合の光パスクロスコネクにおいても複数波長（異波長の波長多重光も含む）を一括して監視でき、波長送出部の波長を制御することを可能とする波長監視装置を提供することにある。

【0017】本発明の更なる目的は、上記目的に加えて、モジュラリティ（モジュール性）に富む構成を得ること、高価な波長監視装置を用いる場合の経済性を高めること、高信頼の波長送出部を構成することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の波長監視装置（200）の一形態は、光パスクロスコネク装置（100）の出力側の伝送路出力光ファイバ（出力伝送路ファイバ120）に挿入され、該光パスクロスコネク装置の出力光の一部を分岐する分岐手段（カブラ210）と、該分岐手段の出力を入力し、該出力の各波長と基準波長との波長誤差を出力する波長誤差出力手段（波長監視回路220）とを具備することを特徴とする。

【0019】このように、波長監視装置を光パスクロスコネク装置の伝送路出力光ファイバ側に配設しているので、WP方式、VWP方式のいずれに関わらず伝送路出力光ファイバ側の異なる波長（異波長）の波長多重光を波長監視装置で一括監視することができる。更に、伝送路出力光ファイバにおける波長多重光の一部を分岐手段で分岐し、波長誤差出力手段に入力する構成により、モジュラリティに富む構成が実現できる。

【0020】また、本発明の波長監視装置は、他の形態として、光パスクロスコネク装置（100）の出力側の複数の伝送路出力光ファイバ（出力伝送路ファイバ120）に挿入され、それぞれ該光パスクロスコネク装置の出力光の一部を分岐する複数の分岐手段（カブラ210）と、該複数の分岐手段の出力の内の1つを選択して出力する光スイッチ手段（光スイッチ230）と、該光スイッチ手段の出力を入力し、該出力の波長と基準波長との波長誤差を出力する波長誤差出力手段（波長監視回路220）とを具備することを特徴とする。

【0021】このように、各伝送路出力光ファイバにおける波長多重光の一部を分岐手段で分岐し、それぞれのファイバの波長多重光を光スイッチ手段により逐次切替える構成により、高価な波長監視装置を用いる場合の経済性を高められる。

【0022】また、本発明の波長監視装置は、更に他の形態として、前記光パスクロスコネク装置（100）の光パス接続状態に基づいて該光パスクロスコネク装置内から制御対象たる光源（波長群送出部102中の波

長送出部OSの半導体レーザ）を決定する光源決定手段（パス接続制御部310、接続テーブル320）と、該光源決定手段の出力（接続情報信号）に応じて前記波長誤差出力手段（波長監視装置200の波長監視回路220）の前記出力（波長誤差信号）を該当の光源へ接続する接続制御手段（波長制御回路部330）とを具備することを特徴とすることができる。

【0023】このように、光パスクロスコネク装置の光パス接続状態により光パスクロスコネク装置内から制御対象たる光源を決定し、波長誤差信号を負帰還する波長制御機能を備える構成により、高信頼の波長送出部を構成できる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0025】（第1の実施形態例）図5は、本発明の第1の実施形態例の装置の構成を示す。図5に示すように、本例では波長監視装置200を光パスクロスコネク100の各出力側に配備している。光パスクロスコネク100は図3および図4を用いて従来技術の項ですでに説明した公知の光パスクロスコネクと同様な構成のものであるので、その詳細な説明は省略する。

【0026】次に本装置の動作を説明する。光パスクロスコネク100の波長群送出部102においてWP方式（光パスの始点から終点までを同一の波長で伝送する方式）の場合には、各波長送出部OSは、入力伝送路ファイバ110で伝送されてきた光信号を波長デマルチプレキサW-Dにより分波した入力波長光に対応した各々異なる波長光を出力する。またVWP方式（ノード内において波長変換を行なう（即ち、同一の光パスをノード毎に波長を入れ換える）方式）の場合には、各波長送出部OSは入力波長光と必ずしも一致しない波長光を出力する。この波長光出力は合流型スイッチ103によって内部の各出力伝送路ファイバに経路選択され、スターカブラSCで合波される。

【0027】図5において光パスクロスコネク100の出力はWP方式、VWP方式のいずれに関わらず、一つの出力伝送路ファイバ120に対しては常に異なる波長（ λ_1 , λ_2 , ..., λ_M ）で出力される。

【0028】この出力光は、本例では波長監視装置200に入力され波長監視が実現される。この時、波長監視装置200には、N本の波長多重光（M波長多重 λ_1 , λ_2 , ..., λ_M ）が入力される。

【0029】波長監視装置が光パスクロスコネク内の波長群送出部に配置されていた従来の構成ではVWP方式の波長監視は前述のように不可能であったが、本実施形態例では、波長監視装置を光パスクロスコネクの出力伝送路ファイバ側に配設しているので、WP方式、VWP方式のいずれに関わらず出力伝送路ファイバ120側の異なる波長（異波長）の波長多重光を波長監視装置

200で一括監視することができる。すなわち、上述のように光パスクロスコネク100の出力はWP方式、VWP方式のいずれに関わらず、一つの出力伝送路ファイバ120に対しては常に異なる波長で出力されるので、すべて異なる波長の波長群送出部を監視対象とする公知の波長監視装置200も適用でき、VP方式の波長監視だけでなくVWP方式の波長監視も実現できる。

【0030】（第2の実施形態例）図6は本発明の第2の実施形態例を示す。本例は第1の実施形態例で示した波長監視装置200の構成を具体的に限定するものである。

【0031】図6に示すように、本例の波長監視装置200は複数のカブラ210と複数波長（すべて異なる波長）の波長多重光を一括して監視できる複数の波長監視回路220とによって構成する。ここで、光パスクロスコネク100（図5）の出力（光クロスコネク出力）130と出力伝送路ファイバ120の数はそれぞれ複数N本とする。これら各光クロスコネク出力130と出力伝送路ファイバ120間のそれぞれにカブラ210を直列に接続し、各カブラ210の分岐出力光のそれぞれに波長監視回路220を接続し、波長監視装置200の出力として各波長監視回路220から波長誤差信号を得る。

【0032】波長監視回路220としては、例えば、公知の掃引型ファブリペロー干渉計、交差弁別型アレイ導波路格子などが使用でき、また後述の実施例の項で詳述した波長監視回路が使用できる。

【0033】次に本例の装置の動作を説明する。光パスクロスコネク100の出力光をカブラ210によって一部分岐し、この分岐出力光を波長監視回路220に投入し、他方の出力光を出力伝送路ファイバ120に出力する。波長監視回路220は波長多重光の規定波長からの波長誤差を出力する。

【0034】このように、本例では出力伝送路ファイバにおける波長多重光の一部を分岐し、波長監視回路220に投入するようにしたので、モジュラリティに富む構成になる。

【0035】（第3の実施形態例）図7は本発明の第3の実施形態例を示す。本例は第1の実施形態例で示した波長監視装置200の構成を限定する他の例を示す。

【0036】図7に示すように、本例の波長監視装置200は出力伝送路ファイバ120と同数のカブラ210と、単一の光スイッチ230と、複数波長（すべて異なる波長）の波長多重光を一括して監視できる単一の波長監視回路220とによって構成する。すなわち、各光クロスコネク出力130と出力伝送路ファイバ120間のそれぞれにカブラ210を直列に接続し、各カブラ210の分岐出力光を光スイッチ230を介して波長監視回路220に逐次接続する。波長監視回路220としては、上述の第2の実施形態例で説明したのと同様なもの

が適用できる。

【0037】次に本例の装置の動作を説明する。光パスクロスコネク100（図5）の出力光130をカブラ210によって一部分岐し、その分岐光と結合した入力端を光スイッチ230によって固定時間毎に切替え、光スイッチ230の出力光を波長監視回路220に逐次投入する。波長監視回路220は波長多重光の各波長光の規定波長からの波長誤差を示す波長誤差信号を時分割的にあるいは並列的に出力する。またカブラ210によって分岐された他方の出力光を出力伝送路ファイバ120に出力する。

【0038】このように、本例では各出力伝送路ファイバ120における波長多重光の一部を分岐し、それぞれのファイバの波長多重光を光スイッチ230により逐次切替えるようにしているので、高価な波長監視装置を用いる場合の経済性を高められる。

【0039】（第4の実施形態例）図8は本発明の第4の実施形態例を示す。本例は上述の第1実施形態例、第2実施形態例、第3実施形態例に示した波長監視装置200によって出力される各波長光の波長誤差信号（ $M \times N$ 本）に対して、合流型スイッチ103の接続情報を管理するパス接続制御部310の接続テーブル320を参照して、波長誤差信号の負帰還先を決定することを特徴とする。

【0040】まず、構成を説明すると、図8の（A）に示すように、パス接続制御部310は光パスクロスコネク100内の合流型スイッチ130に接続して、合流型スイッチ103の接続情報を管理する。波長監視装置200から出力する波長誤差信号（ $M \times N$ 本）とパス接続制御部310の接続テーブル320から読み出される接続情報信号とが波長制御回路部330に投入し、この接続情報信号に基づいて波長制御回路部330において波長誤差信号の負帰還先が決定される。波長制御回路部330で負帰還先が決定された波長制御信号（ $M \times N$ 本）がその負帰還先である光パスクロスコネク100内の波長群送出部102を構成する各波長送出部OSに対して供給される。

【0041】波長制御回路部330の構成例を図8の（B）に示す。同図に示すように、波長制御回路部330は入力接続情報信号に応じて入力波長誤差信号を選択的に切り替える電気スイッチ331と、電気スイッチ331の複数の出力端子のそれぞれに連結して波長制御信号を発生する複数の波長制御回路332とから構成される。その他の構成は図5、図6または図7と同様である。

【0042】次に本例の装置の動作を説明する。図5、図6または図7で示したと同様の波長監視装置200からの波長誤差信号出力（ $M \times N$ 本）を、パス接続制御部310内にある接続テーブル320を参照する接続情報信号により波長制御回路部330内の電気スイッチ33

1を切替えることで逐次選択し、選択された波長誤差信号を個別の波長送出部OSに対応する波長制御回路332に帰還して、波長制御負帰還ループを構築する。

【0043】このように、本例では光パスの接続状態を管理するパス接続制御部310の情報（接続情報信号）により波長群送出部102の中から制御対象たる半導体レーザ（波長送出部OS）を決定し、波長誤差信号を負帰還する波長制御機能を備えるようにしているので、高信頼の波長送出部を構成できる。

【0044】

【実施例】図6および図7に示した本発明に用いる波長監視回路220として好適な波長監視回路の具体例を本発明の実施例として以下に説明する。なお、その他の構成部分は図5～図8に示した本発明の各実施形態例の構成と同様なのでその説明は省略する。

【0045】（第1実施例）図9は、本発明に好適な波長監視回路220の第1実施例の構成を示す。

【0046】同図において、基準波長光（波長 λ_0 ）と監視対象の波長多重光（波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ ）は、光カプラ11で多重されてアレイ導波路格子12の所定の入力導波路に入力される。アレイ導波路格子12は、基板31上に形成した入力用導波路アレイ32、入力側コンケイブスラブ導波路33、導波路長差 ΔL で順次長くなる複数本の導波路からなるアレイ導波路34、出力側コンケイブスラブ導波路35、出力用導波路アレイ36を順次接続した構成である。本実施例ではアレイ導波路34にヒータ13が取り付けられる。発振器14から出力される参照信号Saは電流回路15に入力され、ヒータ13の温度を制御する。

【0047】アレイ導波路格子12の出力導波路#0～#nには、光検出器16-0, 16-i（iは1～n）が接続される（図10（A））。光検出器16-0, 16-iの出力は、それぞれ増幅器17-0, 17-iを介して位相比較器18-0, 18-iに接続される。位相比較器18-0, 18-iには、発振器14から出力される参照信号Saが入力され、その出力はそれぞれローパスフィルタ（LPF）19-0, 19-iに入力される。ローパスフィルタ19-0の出力は積分器20-0に入力される。積分器20-0の出力には温度制御回路21が接続される。温度制御回路21は、アレイ導波路格子12の温度を調整するペルチェクーラ22を制御する。

【0048】図11は、上記温度制御回路21の構成を示すブロック図である。同図において、符号12Tは、アレイ導波路格子12の温度を検出するサーミスタである。サーミスタ12Tの出力は、温度制御回路21内のサーミスタブリッジ回路211に送られる。サーミスタブリッジ回路211は、サーミスタ12Tの抵抗値から、アレイ導波路格子12の温度に対応する温度信号TSを出力し、比較器212へ供給する。比較器212の

他方の入力端子には、基準電圧源213から、基準電圧RVが供給されている。比較器212は、温度信号TSと基準電圧RVとを比較し、実測温度と設定温度との誤差信号TEを出力する。誤差信号TEは、あらかじめ設定された時定数を有するループフィルタ214に供給される。ループフィルタ214は、誤差信号TEを温度制御信号TCに変換する。

【0049】一方、基準波長光に関する波長誤差信号Sdは、加算回路215に供給される。この波長誤差信号Sdは、基準波長光の波長と、基準波長光のチャンネルの透過中心波長との波長誤差である。一方、透過中心波長の設定値と基準波長光の波長との間に、予め設定したオフセットがある場合には、波長誤差信号Sdとオフセット信号FSとの和が、設定透過中心波長と実際の透過中心波長との誤差となる。加算回路215は、オフセット回路216から供給されたオフセット信号FSと、波長誤差信号Sdとを加算し、誤差信号ESを次の加算回路217に供給する。加算回路217は、誤差信号ESと温度制御信号TCとの差をとり、ペルチェ素子駆動回路218を介して、ペルチェクーラ22を制御する。このように、アレイ導波路格子12の設定透過中心波長と基準波長光の波長とのずれ量を示すオフセット信号を用いることによって、設定透過中心波長と異なる波長の基準波長光を用いて制御することが可能となる。

【0050】なお、図10（B）に示すように、アレイ導波路格子12の出力導波路#1～#nに接続される光検出器以下の構成を1セットとし、光スイッチ23を用いて切り替えて接続するようにしてもよい。

【0051】ここで、アレイ導波路格子12の機能について説明する。

【0052】所定の入力用導波路アレイ32から入射された光は、入力側コンケイブスラブ導波路33において回折により広がり、その回折面と垂直に配置された導波路アレイ34に導かれる。導波路アレイ34は、各導波路が導波路長差 ΔL で順次長くなっているため、各導波路を伝搬して出力側コンケイブスラブ導波路35に到達した光には導波路長差 ΔL に対応する位相差が生じている。この位相差は波長（光周波数）により異なるため、出力側コンケイブスラブ導波路35のレンズ効果で出力用導波路アレイ36の入力端に集光する際に、波長ごとに異なる位置に集光する。

【0053】このように、アレイ導波路格子12は光分波器として機能させることができる。その透過特性は、図12に示すように出力導波路に対応して各透過中心波長が所定の間隔に並ぶ。なお、入力導波路の位置を1つずらすと、透過中心波長と出力導波路の対応関係が1チャンネルずつ巡回的にずれる。

【0054】本実施例では、導波路アレイ34を加熱するヒータ13の温度を参照信号Saに応じて変化させる。これにより、アレイ導波路格子12の透過特性を波

長軸上で微小振動させることができる（図13、図15（A）および図15（B）参照）。その振動に応じて得られる光強度の変化を同期検波することにより、透過中心波長との相対的な波長誤差を検出することができる。この原理に基づいて、まず基準波長光の波長にアレイ導波路格子12の透過特性を安定化する。

【0055】図13および図14は、第1実施例における基準波長光の波長弁別と透過特性の安定化動作を説明する図である。

【0056】基準波長光は、アレイ導波路格子12の出力導波路#0から出射されて光検出器16-0に受光され、その受光信号S_bが増幅器17-0で増幅されて位相比較器18-0に入力される。このとき、出力導波路#0の透過中心波長は、基準波長光の波長 λ_0 。に対して、図13および図14に示す状態[1]、状態[2]、状態[3]のいずれかの関係にある。

【0057】出力導波路#0の透過中心波長が基準波長光の波長 λ_0 。に対して短波長側になる状態[3]では、受光信号S_bは参照信号S_aと同じ周波数と位相の信号となり、長波長側になる状態[1]では参照信号S_aと同じ周波数で位相が π ずれた信号となる。また、両者が一致する状態[2]では、受光信号S_bは参照信号S_aの2倍の周波数の信号となる。このような受光信号S_bを位相比較器18-0で参照信号S_aによって同期検波し、ローパスフィルタ19-0で微小振動成分を除去し、信号成分を抽出することにより、基準波長光の波長 λ_0 。と出力導波路#0の透過中心波長との相対波長誤差に対応した誤差信号S_cを得ることができる。誤差信号S_cは、状態[3]では正となり、状態[1]では負となり、状態[2]では0となる。

【0058】この誤差信号S_cを積分器20-0で時間積分することにより制御信号S_dが得られ、これを温度制御回路21およびペルチェクーラ22を介してアレイ導波路格子12に負帰還する。アレイ導波路格子12は、ペルチェクーラ22による温度制御によっても透過特性が変化する。これにより、相対波長誤差をゼロにするループが働き、アレイ導波路格子12の出力導波路#0の透過中心波長を基準波長光の波長 λ_0 。に安定化することができる。

【0059】一方、アレイ導波路格子12の各出力導波路#0～#nの透過中心波長の相対精度は極めて高いので、出力導波路#0の透過中心波長を安定化することにより、アレイ導波路格子全体の透過特性を安定化することができる。

【0060】ここで、アレイ導波路格子12の出力導波路#1～#nの透過中心波長が、監視対象の波長多重光の各波長 λ_1 、 λ_2 、…、 λ_n になるように設計すると、各出力導波路の出力光から同様の同期検波により波長多重光の各波長誤差を検出することができる。なお、波長多重光の各波長は等間隔でもよいし、不等間隔であ

ってもよい。アレイ導波路格子12はいずれの場合にも対応できる。

【0061】図15（A）および図15（B）は、第1実施例における波長多重光の波長弁別動作を説明する図である。

【0062】アレイ導波路格子12の透過特性は、基準波長光の波長 λ_0 。に安定化されている。したがって、位相比較器18-1～18-nにおける同期検波により検出される誤差信号は、波長多重光の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ と出力導波路#1～#nの透過中心波長との相対波長誤差に対応したものとなる。

【0063】たとえば、波長 λ_1 の信号光が短波長側に揺らいだ[1]の状態は、図13および図14に示す出力導波路#0の透過中心波長が基準波長光の波長 λ_0 。に対して長波長側になる状態[1]と等価である。また、波長 λ_1 の信号光が長波長側に揺らいだ[3]の状態は、出力導波路#0の透過中心波長が基準波長光の波長 λ_0 。に対して短波長側になる状態[3]と等価である。したがって、出力導波路#1の透過中心波長 λ_1 に対応する[2]の状態を中心に、波長の揺らぎに応じた誤差信号を同期検波によって得ることができる。なお、波長多重光の各波長誤差に対応する誤差信号は、波長誤差量として数値化してもよく、また波長多重光の各光源の波長制御回路へフィードバックして安定化を図るようにしてもよい。

【0064】このように、本実施例の波長監視回路220は、アレイ導波路格子12の各出力導波路の透過中心波長の相対精度の高さを利用し、1つの透過中心波長を基準波長光の波長 λ_0 。に安定化することにより、監視対象の波長多重光の波長誤差を高精度に弁別することができる。

【0065】ところで、本実施例では、基準波長光と波長多重光を多重してアレイ導波路格子12の所定の入力導波路に入射しているが、基準波長光と波長多重光を別の入力導波路から入射してもよい。上述したように、入力導波路をシフトすることにより出力導波路が巡回的にシフトするので、基準波長光を別の入力導波路から入射して出力導波路#0から基準波長光を出力させるには、基準波長光の波長 λ_0 。を波長多重光の1つの波長と同じにすればよい。たとえば、図10（A）の波長配置において、基準波長光の波長を λ_1 （または λ_n ）とした場合には、基準波長光の入力導波路を波長多重光の入力導波路の隣にすればよい。このように、アレイ導波路格子12を用いることにより、基準波長光の波長 λ_0 。を波長多重光で使用する波長を含めて任意に設定することができる。なお、これについては、後で詳細に説明する。

【0066】（第2実施例）図16は、本発明に好適な波長監視回路220の第2実施例の構成を示す。

【0067】第1実施例ではアレイ導波路格子12の透過特性を参照信号S_aで変調したが、本実施例はアレイ

導波路格子12の入射光を参照信号S_aで位相変調あるいは周波数変調することを特徴とする。

【0068】図16において、光カプラ11とアレイ導波路格子12との間に位相変調器あるいは周波数変調器24を配置し、発振器14から出力される参照信号S_aを位相変調器あるいは周波数変調器24に与え、基準波長光および波長多重光を位相変調あるいは周波数変調する。その他の構成および波長誤差検出原理は第1実施例と同じである。ただし、本実施例では、アレイ導波路格子12の透過特性を一定とし、基準波長光および波長多重光を波長軸上で微小振動させ、その振動に応じて得られる光強度の変化(受光信号S_b)を同期検波し、透過中心波長との相対的な波長誤差を検出する。したがって、誤差信号S_cの符号は第1実施例の場合とは反対の意味をもつ。

【0069】図17および図18は、第2実施例における波長弁別と透過特性の安定化動作を説明する図である。

【0070】出力導波路#0の透過中心波長は、基準波長光の波長 λ_0 に対して、状態[1]、状態[2]、状態[3]のいずれかの関係にある。出力導波路#0の透過中心波長が基準波長光の波長 λ_0 に対して長波長側になる状態[1]では、受光信号S_bは参照信号S_aと同じ周波数と位相の信号となり、短波長側になる状態

[3]では参照信号S_aと同じ周波数で位相が π ずれた信号となる。また、両者が一致する状態[2]では、受光信号S_bは参照信号S_aの2倍の周波数の信号となる。このような受光信号S_bを位相比較器18-0で参照信号S_aによって同期検波し、ローパスフィルタ19-0で変調周波数成分を除去し、信号成分を抽出することにより、基準波長光の波長 λ_0 と出力導波路#0の透過中心波長との相対波長誤差に対応した誤差信号S_cを得ることができる。誤差信号S_cは、状態[1]では正となり、状態[3]では負となり、状態[2]では0となる。この誤差信号S_cを積分器20-0で時間積分して得た制御信号S_dでペルチェーラ22を制御することにより、相対波長誤差をゼロにするループが働き、アレイ導波路格子12の出力導波路#0の透過中心波長を基準波長光の波長 λ_0 に安定化することができる。

【0071】波長多重光の波長弁別動作も同様である。すなわち、アレイ導波路格子12の透過特性は基準波長光の波長 λ_0 に安定化されるので、位相比較器18-1~18-nにおける同期検波により検出される誤差信号は、波長多重光の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ と出力導波路#1~#nの透過中心波長との相対波長誤差に対応したものととなる。

【0072】(第3実施例)図19(A)は、本発明に好適な波長監視回路220の第3実施例の構成を示す。

【0073】同図において、基準波長光(波長 λ_0)と監視対象の波長多重光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$)は、光カプラ

11で多重されてアレイ導波路格子12の所定の入力導波路に入力される。アレイ導波路格子12の出力導波路#0~#2n+1には、隣接する2つの出力導波路ごとにバランスト受光素子25-0, 25-i(iは~n)が接続される(図20(A))。バランスト受光素子25-0, 25-iの出力は、それぞれ増幅器17-0, 17-iに入力される。増幅器17-0の出力は、積分器20-0に入力される。積分器20-0の出力には温度制御回路21が接続される。温度制御回路21は、アレイ導波路格子12の温度を調整するペルチェーラ22を制御する。

【0074】なお、図20(B)に示すように、アレイ導波路格子12の出力導波路#2~#2n+1に接続されるバランスト受光素子以下の構成を1セットとし、光スイッチ23-1, 23-2を用いて切り替えて接続するようにしてもよい。

【0075】本実施例の特徴は、図21(A)に示すように、隣接する透過特性の交差点(交差波長)が基準波長光の波長 λ_0 に一致するように透過特性を安定化し、波長多重光の各波長弁別を行うところにある。アレイ導波路格子12の透過特性をこのように設定した場合には、図21(B)に示すように、基準波長光の光強度は出力導波路#0, #1の間にガウス分布の形状(ガウシアンビーム)で広がる。このガウシアンビームと出力導波路#0, #1との結合は、図中斜線で示す両者の重なり部分で生じる。したがって、透過特性が長波長側あるいは短波長側に変動すると、基準波長光の波長 λ_0 との相対波長誤差に応じて出力導波路#0, #1に結合する光強度が不均等になり、両者の差が誤差信号として検出される。

【0076】図22(A)および図22(B)は、第3実施例における基準波長光の波長弁別および透過特性の安定化動作を説明する図である。

【0077】出力導波路#0, #1の透過特性は、基準波長光の波長 λ_0 に対して、状態[1]、状態[2]、状態[3]のいずれかの関係にある。透過特性が基準波長光の波長 λ_0 に対して長波長側になる状態[1]では、出力導波路#0に結合される光強度が大きくなり、短波長側になる状態[3]では出力導波路#1に結合される光強度が大きくなる。また、両者が一致する状態

[2]では、出力導波路#0, #1に光強度が均等に結合される。したがって、出力導波路#0, #1に接続されるバランスト受光素子25-0の各受光信号S_{a0}, S_{a1}は、状態[1], [2], [3]に応じて変化する。バランスト受光素子25-0は、各受光信号S_{a0}, S_{a1}の差分を誤差信号S_cとして出力するので、誤差信号S_cは状態[3]で正電圧を示し、状態[1]で負電圧を示し、状態[2]では0となる。この誤差信号S_cを積分器20-0で時間積分して得た制御信号S_dでペルチェーラ22を制御することにより、相対波

長誤差をゼロにするループが働き、アレイ導波路格子12の透過特性を基準波長光の波長 λ_0 に安定化することができる。

【0078】波長多重光の波長弁別動作も同様である。すなわち、アレイ導波路格子12の透過特性は基準波長光の波長 λ_0 に安定化されるので、各バランスト受光素子25-1～25-nから出力される誤差信号は、波長多重光の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ と透過特性との相対波長誤差に対応したものとなる。

【0079】なお、本実施例ではバランスト受光素子と増幅器を用いた構成を示したが、図19(B)に示すように、2つの出力導波路にそれぞれ光検出器16-1、16-2を接続し、各受光信号を差動増幅器26で処理するようにしても同様の作用・効果が得られる。

【0080】ところで、本実施例では、アレイ導波路格子12の隣接する出力導波路の光強度の差から波長誤差を検出する。しかし、図21(B)に示すように出力導波路間ピッチを理想的にゼロにはできないので、その間の光強度成分が有効に活用されず、出力導波路に結合される光強度が小さくなる。すなわち、交差波長における透過強度が小さくなる。この問題点を解決する構成を以下に示す。

【0081】(第4実施例) 図23は、本発明に好適な波長監視回路220の第4実施例の構成を示す。

【0082】同図において、基準波長光(波長 λ_0)と監視対象の波長多重光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$)は、2×2光カプラ27で多重されてアレイ導波路格子12の2つの入力導波路に入力される。一方の入力導波路から入力された基準波長光および波長多重光に対して、アレイ導波路格子12の出力導波路#0～#nに波長 λ_0 の基準波長光および波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光がそれぞれ出力される。また、他方の入力導波路から入力された基準波長光および波長多重光に対して、アレイ導波路格子12の出力導波路#n+1～#2n+1に波長 λ_0 の基準波長光および波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光がそれぞれ出力される。各波長に対応する2つの出力導波路ごとにバランスト受光素子25-0、25-i(iは1～n)が接続される(図24(A))。バランスト受光素子25-0、25-iの出力は、それぞれ増幅器17-0、17-iに入力される。増幅器17-0の出力は、積分器20-0に入力される。積分器20-0の出力には温度制御回路21が接続される。温度制御回路21は、アレイ導波路格子12の温度を調整するペルチェークラ22を制御する。

【0083】なお、図24(B)に示すように、アレイ導波路格子12の出力導波路#1～#n、#n+2～#2n+1に接続されるバランスト受光素子以下の構成を1セットとし、光スイッチ23-1、23-2を用いて切り替えて接続するようにしてもよい。

【0084】本実施例の特徴とするところは、出力導波

路#0～#nと出力導波路#n+1～#2n+1の間隔を調整することにより、図25に示すように各波長に対応する2つの出力導波路に光強度の半分ずつを結合させるところにある。たとえば、出力導波路#0には基準波長光(λ_0)の短波長側の半分、出力導波路#n+1には基準波長光(λ_0)の長波長側の半分が結合するように設計する。これは、出力導波路#nと#n+1との間隔を、図25に示すように $6\Delta\lambda$ とし、出力導波路#0の透過中心波長を $\lambda_0 - \Delta\lambda$ 、出力導波路#n+1の透過中心波長を $\lambda_0 + \Delta\lambda$ とするものである。ただし、 $\Delta\lambda$ は波長多重光の波長間隔の1/4である。逆に、出力導波路#0には基準波長光(λ_0)の長波長側の半分、出力導波路#n+1には基準波長光(λ_0)の短波長側の半分が結合するようにしてもよい。波長多重光の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光についても同様である。このように、出力導波路#0～#nの各導波路間隔を $4\Delta\lambda$ 、出力導波路#n+1～#2n+1の各導波路間隔も $4\Delta\lambda$ としているのに対し、出力導波路#nと#n+1との間隔を $6\Delta\lambda$ とした点が本実施例の特徴である。いいかえれば、通常の出力導波路間隔を多重波長光の波長間隔($4\Delta\lambda$)としているのに対して、出力導波路群I(#0～#n)とII(#n+1～#2n+1)との間隔を、波長多重光の波長間隔($4\Delta\lambda$)より、さらに半波長間隔分($2\Delta\lambda$)シフトし、その1.5倍($6\Delta\lambda$)とした点を特徴としている。

【0085】このような透過特性が、温度揺らぎにより例えば $\Delta\lambda$ が大きくなる方向にシフトすると、出力導波路#0への結合強度が小さくなり、出力導波路#n+1への結合強度が大きくなる。この両者の差を第3実施例と同様にして検出してペルチェークラ22を制御することにより、相対波長誤差をゼロにするループが働き、アレイ導波路格子12の透過特性を基準波長光の波長 λ_0 に安定化することができる。

【0086】波長多重光の波長弁別動作も同様である。すなわち、アレイ導波路格子12の透過特性は基準波長光の波長 λ_0 に安定化されるので、各バランスト受光素子25-1～25-nから出力される誤差信号は、波長多重光の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ と透過特性との相対波長誤差に対応したものとなる。

【0087】上記実施例は、図26(A)に示すように、入力導波路(a)、(b)に、基準波長光と波長多重光とを多重化して入射し、出力導波路#0～#nに分波波長群I、出力導波路#n+1～#2n+1に分岐波長群IIを得るものであった。

【0088】しかしながら本実施例は、このような構成に限定されない、たとえば、図26(B)に示すように、出力導波路#0～#nに0次光(回折次数n)、出力導波路#n+1～#2n+1に1次光(回折次数n+1)などの光を取り出せるように設計することも可能である。ただし、この場合にはバランスト受光素子に変え

で差動増幅器 26 を用い、0 次光と 1 次光の出力強度差を補正して波長弁別処理を行う。また、出力導波路群をさらに増やして、FSR の数倍用意し、0 次光および 1 次光の他に、2 次光（回折次数 $n+2$ ）などの光を取り出せるようにすることも可能である。この場合も各次数の出力導波路群の間隔は、波長多重光の波長間隔の 1.5 倍（ $6\Delta\lambda$ ）とすることが特徴である。なお、以上の各実施例では波長多重光の波長弁別について説明したが、光周波数弁別についても同様に説明することができる。

【0089】（第 5 実施例）図 27 および図 28 は、本発明に好適な波長監視回路 220 の第 5 実施例を示すブロック図である。この第 5 実施例が、図 19（A）に示す第 3 実施例と異なる点は、第 3 実施例が、隣接出力ポートの出力の差をとっているのに対して、本実施例では、出力の比をとっている点である。そのために、本実施例では、対をなす受光素子 16-i a、16-i b の出力を、対数増幅器 40-i の第 1 入力端および第 2 入力端にそれぞれ供給している。対数増幅器 40-i は、2 つの入力信号を対数変換した後で、それらの差をとっている。したがって、本実施例では、隣接出力ポートの出力の比が波長誤差信号として出力される。

【0090】本実施例のアレイ導波路格子（AWG）12 は、 16×16 のアレイ導波路格子であり、各隣接チャネルの透過中心波長間隔は 1 nm である。したがって、FSR（Free Spectral Range）は、16 nm となる。ただし、入力ポートとしては、中央の 8 ポートのみを使用している。アレイ導波路格子 12 の各チャネルの透過中心波長は、波長多重光と基準波長光との多重波の入力ポートの位置によって変化する。

【0091】図 29（A）は、図 27 に対応する図であり、波長多重光と基準波長光との多重波を、入力ポート #1 から入力した場合の、アレイ導波路格子 12 の透過特性を示すグラフである。図 29（A）の横軸は波長、縦軸は透過率を表す。この図から分かるように、出力ポート番号が 1 だけ大きくなると、その透過中心波長は 1 nm だけ長波長側にシフトする。そのため、各出力ポートは、図 27 に示すように、番号が増えるにしたがって、長波長側の対数増幅器に接続されている。すなわち、出力ポート #1 および #2 は、対をなす受光素子 16-1 a および 16-1 b を介して、最短波長側の対数増幅器 40-1（出力 #G）の第 1 入力端および第 2 入力端に接続されている。同様に、出力ポート #3 および #4 は、対をなす受光素子 16-2 a および 16-2 b を介して、対数増幅器 40-2（出力 #F）の第 1 入力端および第 2 入力端に接続されている。以下、同様の接続が繰り返され、出力ポート #13 および #14 は、受光素子 16-7 a および 16-7 b を介して、最長波長側の対数増幅器 40-7（出力 #A）の第 1 入力端および第 2 入力端に接続されている。さらに、出力ポート #

15 および #16 は、基準波長光用の出力ポートであり、受光素子 16-0 a および 16-0 b を介して、対数増幅器 40-0（出力 #H）の第 1 入力端および第 2 入力端にそれぞれ接続されている。

【0092】一方、図 29（B）は、図 28 に対応する図であり、波長多重光と基準波長光との多重波を、#7 の入力ポートから入力した場合の透過特性を示すグラフである。入力ポート番号を 1 ずつ増やしていくと、出力ポートは、1 nm ずつ長波長側にシフトしていく。したがって、入力ポートを、#1 から #7 に変更すると、出力ポート #1 の透過中心波長は、6 nm だけ長波長側にシフトし、1549 nm から 1555 nm となる。そのため、各出力ポートは、図 28 に示すように接続されている。すなわち、出力ポート #1 および #2 は、対数増幅器 40-4（出力 #D）の第 1 入力端および第 2 入力端に接続され、出力ポート #3 および #4 は、対数増幅器 40-5（出力 #C）の第 1 入力端および第 2 入力端に接続されている。以下、同様の接続が繰り返され、出力ポート #15 および #16 は、対数増幅器 40-3

（出力 #E）の第 1 入力端および第 2 入力端に接続されている。また、出力ポート #9 および #10 が、基準波長光用の対数増幅器 40-0（出力 #H）の第 1 入力端および第 2 入力端にそれぞれ接続されている。

【0093】図 29（A）および図 29（B）から分かるように、アレイ導波路格子 12 の入出力特性は、周期性（Periodic Assignment）をもっている。たとえば、図 29（A）の出力ポート #15 の出力は、1547 nm および 1563 nm と、FSR 分（この場合は、16 nm）だけシフトした波長にも透過中心波長を有する。隣接した 2 つの透過中心波長特性曲線が交わる点として定義される交差波長についても同様である。

【0094】図 30 は、この様子を示す。図 30（A）～（H）は、各対数増幅器 40-7～40-0 の出力 #A～#H のゼロ交差出力を示している。この図から明らかなように、ゼロ交差点は、2 nm ずつシフトしている。これは、各対数増幅器が、出力ポートを 2 本ずつ使用しているためである。

【0095】このような構成によれば、波長誤差信号が、2 つの出力光の比の形で得られるので、入力光の強度にばらつきがあっても、精度の高い、安定した波長弁別を行うことができる。

【0096】図 31（A）および図 31（B）は、2 つの出力ポートからの出力の差をとった場合（図 31（A））と、比をとった場合（図 31（B））との違いを示すグラフである。これらのグラフの横軸は、交差波長からのずれを正規化した値であり、縦軸は差出力あるいは比出力を入力強度で正規化した値を示している。これらの図から分かるように、差出力は、光の入力強度 P_0 および $P_0/2$ に依存して変化するのに対して、比出力は、入力強度に依存しない一定の特性が得られる。

【0097】波長多重光の測定レンジは、対数増幅器の出力が確定し、2つの出力光の比が得られる範囲となる。図31(B)に示すように、対数増幅器の出力は、ゼロ交差波長で0となり、この点から離れるにしたがって増加するが、交差波長の前後0.5nm程度の範囲を、測定レンジとすることができる。すなわち、測定レンジは、交差波長の前後の直線部分となり、例えば、図30(H)では、1547~1548nmの範囲となる。

【0098】また、基準波長光の波長も、対数増幅器40-0(出力#H)の出力範囲で、任意に設定することができる。すなわち、図11に示すオフセット回路216から出力された、設定交差波長と基準波長光の波長との差に相当するオフセットを、波長誤差信号に加えることによって、設定交差波長と異なる波長の基準波長光を用いることができる。

【0099】実際、アレイ導波路格子12の交差波長は1547.5nmに設定されており、半導体レーザー光源10から出力される基準波長光の波長1547.485nmとの間には、0.015nm(周波数に換算して1.8GHz)の差があるが、オフセットを与えることによって、この差を補償し、透過中心波長の安定した制御を可能としている。

【0100】(第6実施例)図32は、本発明に好適な波長監視回路220の第6実施例を示すブロック図である。この実施例が、図27および図28に示す第5実施例と異なる点は、波長多重光と基準波長光とを別々の入力ポートから入力した点である。すなわち、波長多重光を入力ポート#5へ入力し、基準波長光を入力ポート#7へ入力している。

【0101】入力ポート#5へ入力された波長多重光は、入力ポート#7に入力した図27の場合と比較して、透過中心波長が2nmだけ、短波長側にシフトする。したがって、各交差波長もそれぞれ2nmずつシフトする。たとえば、対数増幅器40-7の出力#Aは、入力ポート#7からの場合は、交差波長が1561.5nmであるが、入力ポート#5からの場合は、1559.5nmにシフトする。

【0102】このような構成によれば、波長多重光の一つの波長光が、基準波長光の波長と同じであっても、波長監視が可能である。これらの光は、波長が同じでも、別の出力ポートから出力されるからである。

【0103】図33、図34、図35(A)および図35(B)は、これを説明するための図である。波長多重光と基準波長光とを合波して、図33の入力ポート#0から入力した場合、出力ポート数が入力波長数(1(基準波長)+波長多重数)の2倍という制約があると、図34のような波長配置となる。すなわち、基準波長として許される波長 $R_{ef}(i)$ は、波長多重光の波長領域に重ならない、FSRの整数倍の波長域に限定される。

【0104】一方、図33に示すように、波長多重光と基準波長光とを異なる入力ポートから入力する場合には、図35(A)の波長多重光に対して、図35(B)に白四角で示した範囲の基準波長光が許される。また、図35(B)の斜線部は、波長多重光と基準波長光とを、同一入力ポートから入力した場合に許される基準波長を示している。したがって、基準波長光の入力ポートを変更することで、任意の波長の基準波長光を使用することができる。

【0105】なお、第5および第6実施例においては、アレイ導波路格子12の出力ポートからの出力の比をとるのに、対数増幅器を用いたが、これに限定されない。たとえば、図36に示すように、対数増幅器の代わりに、A/D変換器41-0a~41-7b、DSP(デジタルシグナルプロセッサ)43、およびD/A変換器45-0~45-7を用いても、同様の作用・効果をあげることができる。この場合、A/D変換器41-0a~41-7bの入力端は、図27の受光素子16-0a~16-7bの出力端に、それぞれ接続される。

【0106】また、D/A変換器45-0~45-7は、必ずしも必要でなく、デジタル信号の形で得られた波長誤差信号を出力として用いることもできる。

【0107】(第7実施例)図37は、本発明に好適な波長監視回路220の第7実施例の構成を示す。

【0108】同図において、基準波長光は原子あるいは分子の吸収線に安定化した波長光である。監視対象の波長多重光(本実施例では8波多重)は光分波器111に入力されて各波長ごとに分波される。基準波長光および波長多重光を分波した各波長光は、複数のマッハツェンダ干渉計112を一体化したマッハツェンダ干渉計アレイ113に入力される。各マッハツェンダ干渉計112は、波長に対して位相が反転した2つの強度出力光を出力し、光検出器114でそれぞれ電気信号に変換される。1つの波長に対する2つの電気信号は、対数増幅器(ログアンプ)115でそのレベル比がとられ、波長誤差信号として出力される。基準波長光に対する波長誤差信号は温度制御回路116に入力される。温度制御回路116は、マッハツェンダ干渉計アレイ113の温度を調整するペルチェクーラ117を制御する。

【0109】ここで、図38を参照して第7実施例における波長誤差検出動作について説明する。

【0110】図38(A)は、マッハツェンダ干渉計アレイ113内の1つのマッハツェンダ干渉計112と、マッハツェンダ干渉計の出力A、Bにそれぞれ対応する光検出器114-1、114-2と、各光検出器から出力される電気信号のレベル比をとり波長誤差信号を出力する対数増幅器115を示す。マッハツェンダ干渉計は、図38(B)に示すように波長(あるいは光周波数)に対して等間隔の透過特性を有し、出力A、Bから出力される光は波長(あるいは光周波数)に対して位相

が反転した特性を示す。なお、実線は出力Aの透過特性、破線は出力Bの透過特性を示す。図38(C)は、基準波長光(波長 λ_0)と波長多重光(波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots$)の波長配置を示す。波長多重光は、図に示す光分波器(あるいは後述する可変光フィルタ)の透過特性に応じて各波長光に分波される。

【0111】マッハツェンダ干渉計112の出力A、Bから出力される光のレベル比に応じた波長誤差信号は、図38(D)に示すように入力波長に応じて正の値から負の値に変化し、出力A、Bの透過率が等しく(共に0.5)なるゼロ交差波長で出力ゼロとなる。すなわち、対数増幅器115から出力される波長誤差信号(電気信号)の極性およびレベルに応じて、入力波長とゼロ交差波長との相対的な波長誤差を検出することができる。

【0112】なお、本実施例では、1/2周期ごとのゼロ交差波長と、基準波長光および波長多重光の各波長とを対応させているので、図37に示すように、隣接する波長を弁別するマッハツェンダ干渉計112の出力A、Bと、対数増幅器115の+端子および-端子との接続関係を交互に入れ替える。これにより、図38(D)に示す特性により、すべての波長に対する波長誤差検出が可能となる。

【0113】いま、基準波長光を入力しているマッハツェンダ干渉計に対応する対数増幅器から出力される波長誤差信号を温度制御回路116に入力し、それがゼロになるようにペルチェクーラ117を制御してマッハツェンダ干渉計アレイ113の温度を調整する。これにより、マッハツェンダ干渉計の透過特性がシフトし、そのゼロ交差波長を基準波長光の波長に一致させることができる。このとき、マッハツェンダ干渉計アレイ113の他のマッハツェンダ干渉計の透過特性も同時に制御されるので、本実施例の構成を基準波長光と同程度の確度をもた波長弁別器として機能させることができる。すなわち、光分波器111で分波された波長多重光の各波長について、それぞれ対応する所定の波長(ゼロ交差波長)からの誤差量を高確度で得ることができる。

【0114】なお、マッハツェンダ干渉計の透過特性を制御する他の方法として、例えばリチウムナイオベイト(LiNbO₃)基板などのように電気光学効果を利用した透過特性掃引手段に対しては印加電圧に負帰還する制御回路を用いることができる。以下に示す実施例においても同様である。

【0115】また、本実施例では対数増幅器でマッハツェンダ干渉計の2つの透過出力光のレベル比をとっているため、入力信号光のパワーが変動しても安定した(入力光パワーに依存しない)波長弁別が可能である。一方、入力信号光のパワーが安定している場合には、対数増幅器に代えて差動増幅器を用いて2つの透過出力光のレベル差を検出する構成でも同様の波長弁別が可能であ

る。また、差動増幅器の出力を入力光パワーで補正する構成をとれば、対数増幅器を用いた場合と同様に入力信号光のパワーが変動しても安定した波長弁別が可能である。以下に示す実施例においても同様である。

【0116】(第8実施例)図39は、本発明に好適な波長監視回路220の第8実施例の構成を示す。

【0117】本実施例は、第7実施例における光分波器111を可変光フィルタ121に置き換え、マッハツェンダ干渉計113として2組のマッハツェンダ干渉計を備えたことを特徴とする。第7実施例では、監視対象の波長多重光を各波長ごとに空間的に分割して同時に波長弁別するのに対して、本実施例では所定の周期で透過中心波長が切り替えられる可変光フィルタ121で波長多重光を時分割で分波して波長弁別する。

【0118】図40は、可変光フィルタ121に印加する掃引信号を示す。可変光フィルタ121に印加する掃引信号は、その透過中心波長が波長多重間隔に対応して変化するように調整された多値ステップ信号である。これにより、波長多重光の各波長の信号光(チャネル)を順次切り替えてマッハツェンダ干渉計に入力することができる。

【0119】このように、可変光フィルタ121の印加電圧に対する透過中心波長の非直線性を校正する掃引信号(多値ステップ信号)を用い、可変光フィルタ121の透過中心波長を波長多重間隔で正確に掃引することにより、各波長の信号光を順次分波することができる。また、第7実施例と同様に、マッハツェンダ干渉計アレイ113のゼロ交差波長が基準波長光の波長に安定化されるので、マッハツェンダ干渉計アレイ113を絶対波長に同期した波長弁別器として機能させることができる。したがって、本実施例の可変光フィルタ121とマッハツェンダ干渉計アレイ113の組み合わせによっても、監視対象の波長多重光の波長誤差を高確度で弁別することができる。

【0120】(第9実施例)図41は、本発明に好適な波長監視回路220の第9実施例の構成を示す。

【0121】本実施例は、第8実施例における可変光フィルタ121を光分波器111と光スイッチ131に置き換えたことを特徴とする。

【0122】本実施例は、波長多重光を第6実施例と同様に光分波器111で各波長ごとに分波し、光スイッチ131で各波長の信号光を順次出力してマッハツェンダ干渉計アレイ113の1つのマッハツェンダ干渉計に入力する。波長弁別動作は第8実施例と同様である。

【0123】(第10実施例)図42は、本発明に好適な波長監視回路220の第10実施例の構成を示す。本実施例は、第8実施例または第9実施例の構成において、基準波長光の偏波と波長多重光の偏波を直交させることにより、1つのマッハツェンダ干渉計で両者の波長弁別を可能にしたことを特徴とする。

【0124】波長多重光は、第8実施例に示す可変光フィルタ121、または第9実施例に示す光分波器111と光スイッチ131を介して各波長ごとに順次分波して出力される。各波長の信号光と基準波長光は、直交偏波合波手段（例えば偏光ビームスプリッタ）141で合波され、1つのマッハツェンダ干渉計112に投入される。マッハツェンダ干渉計112の出力A、Bは、それぞれ直交偏波分離手段（例えば偏光ビームスプリッタ）142-1、142-2で偏波分離される。偏波分離された光は、それぞれ各波長の信号光および基準波長光であり、それぞれ波長誤差検出手段（光検出器114、対数増幅器115）で波長誤差が検出される。マッハツェンダ干渉計112の絶対波長への安定化の制御系は、第7実施例～第9実施例と同様である。

【0125】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば次のような効果が得られる。

【0126】（1）本発明では、波長監視装置（200）を光パスクロスコネクタ装置（100）の伝送路出力光ファイバ（出力伝送路ファイバ120）側に配設しているので、WP方式、VWP方式のいずれに関わらず伝送路出力光ファイバ側の異なる波長（異波長）の波長多重光を波長監視装置で一括監視することができ、従ってWP方式およびVWP方式の光パスクロスコネクタ装置の両者において変更不要な波長監視装置を提供できる。

【0127】（2）また、伝送路出力光ファイバにおける波長多重光の一部を分岐手段（カプラ210）で分岐し、波長誤差出力手段（波長監視回路220）に投入する構成では、波長監視装置を伝送路出力光ファイバ毎に持つことが可能となり、モジュラリティに富む構成になる。

【0128】（3）また、各伝送路出力光ファイバにおける波長多重光の一部を分岐手段で分岐し、それぞれのファイバの波長多重光を光スイッチ手段（光スイッチ230）により逐次切替える構成では、波長誤差出力手段（波長監視装置）を光スイッチ手段によって共有することが可能となり、高価な波長監視装置を用いる場合の経済性を高められる。

【0129】（4）また、光パスクロスコネクタ装置の光パス接続状態により光パスクロスコネクタ装置内から制御対象たる光源（波長群送出部102中の波長送出部OSの半導体レーザ）を光源決定手段（パス接続制御部310、接続テーブル320）で決定し、光源決定手段の出力（接続情報信号）に応じて接続制御手段（波長制御回路部330）により波長誤差信号を該当の光源へ接続するという波長誤差信号を負帰還する波長制御機能を備える構成では、波長送出部の半導体レーザの波長制御を実現することが可能となり、高信頼の波長送出部を構成できる。

【0130】（5）前述の実施例の項で掲げた波長監視装置（波長監視回路）を使用する構成では、周辺温度の変動によるアレイ導波路格子の透過中心波長の変化にも対応できるので、環境変化時でも透過特性を高精度に安定化することができ、長期に渡って高精度に安定した波長弁別を行うことができから、監視対象の波長多重光の各波長を高精度に監視することができる。さらには全体の構成を簡単にし、小型でかつ大量生産に適し、対振動性を高めることができる等の利点も得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の波長監視装置の一例を示すブロック図である。

【図2】従来の波長監視装置の動作を示す波形図である。

【図3】従来の光パスクロスコネクタの構成を示すブロック図である。

【図4】光パスクロスコネクタ内の合流型スイッチの一例を示す結線図である。

【図5】本発明の第1の実施形態例の全体の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の第2の実施形態例における波長監視装置を示すブロック図である。

【図7】本発明の第3の実施形態例における波長監視装置を示すブロック図である。

【図8】（A）は、本発明の第4の実施形態例の全体の構成を示すブロック図、（B）は、波長制御回路部の構成を示すブロック図である。

【図9】本発明に好適な波長監視回路の第1実施例を示すブロック図である。

【図10】（A）は、第1実施例の要部の構成を示す図、（B）は、第1実施例の変形例の要部の構成を示す図である。

【図11】温度制御回路の構成を示すブロック図である。

【図12】アレイ導波路格子の透過特性を示すグラフである。

【図13】第1実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図14】第1実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図15】（A）および（B）は、第1実施例における波長多重光の波長弁別動作を説明するための図である。

【図16】本発明に好適な波長監視回路の第2実施例を示すブロック図である。

【図17】第2実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図18】第2実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図19】(A)は、本発明に好適な波長監視回路の第3実施例を示すブロック図、(B)は、第3実施例においてバランスト受光素子および増幅器に代えて、光検出器および差動増幅器を用いた例を示す図である。

【図20】(A)は、第3実施例の要部の構成を示す図、(B)は、第3実施例の変形例の要部の構成を示す図である。

【図21】(A)および(B)は、第3実施例における透過特性と、基準波長光との関係を示す図である。

【図22】(A)および(B)は、第3実施例における基準波長光の波長弁別と、透過特性の安定化動作とを説明するための図である。

【図23】本発明に好適な波長監視回路の第4実施例を示すブロック図である。

【図24】(A)は、第4実施例の要部の構成を示す図、(B)は、第4実施例の変形例の要部の構成を示す図である。

【図25】第4実施例における波長弁別動作を説明するための図である。

【図26】(A)および(B)は、第4実施例とその変形例における入出力状態を示す図である。

【図27】本発明による波長監視回路の第5実施例を示すブロック図である。

【図28】本発明による波長監視回路の第5実施例を示すブロック図である。

【図29】(A)および(B)は、アレイ導波路格子の周回性を説明するためのグラフであり、(A)は入力光を、入力ポート#1に投入した場合を示し、(B)は、入力光を、入力ポート#7に投入した場合を示している。

【図30】入力光を、入力ポート#1に投入したときの、各対数増幅器の出力のゼロ交差波長を示すグラフである。

【図31】(A)は、2つの出力ポートの出力差が、入力光強度に依存することを示すグラフ、(B)は、2つの出力ポートの出力比が、入力光強度に依存しないことを示すグラフである。

【図32】本発明に好適な波長監視回路の第6実施例を示すブロック図である。

【図33】波長多重光を入力ポート#0から投入し、基準波長光を別の入力ポートから投入した場合の、出力光の状態を示す図である。

【図34】波長多重光と基準波長光とを合波してから投入した場合の、波長多重光と基準波長光との波長配置を示す図である。

【図35】(A)および(B)は、波長多重光と基準波長光とを異なる入力ポートに投入した場合の、波長配置

を示す図であり、(A)は、波長多重光の波長配置を示し、(B)は、基準波長光の波長配置を示す。

【図36】第5および第6実施例において、受光器の出力端に、対数増幅器に代えて、A/D変換器、DSP（デジタルシグナルプロセッサ）およびD/A変換器を接続したときの構成を示すブロック図である。

【図37】本発明の第7実施例の構成を示す図である。

【図38】第7実施例における波長誤差検出動作について説明する図である。

【図39】本発明の第8実施例の構成を示す図である。

【図40】可変光フィルタ121に印加する掃引信号を示す図である。

【図41】本発明の第9実施例の構成を示す図である。

【図42】本発明の第10実施例の構成を示す図である。

【符号の説明】

- 11 光カプラ
- 12 アレイ導波路格子
- 13 ヒータ
- 14 発振器
- 16 光検出器
- 17 増幅器
- 18 位相比較器
- 19 ローパスフィルタ (LPF)
- 20 積分器
- 21 温度制御回路
- 22 ペルチェクーラ
- 23 光スイッチ
- 24 位相変調器
- 25 バランスト受光素子
- 26 差動増幅器
- 27 2×2光カプラ
- 31 基板
- 32 入力用導波路アレイ
- 33 入力側コンケイブスラブ導波路
- 34 アレイ導波路
- 35 出力側コンケイブスラブ導波路
- 36 出力用導波路アレイ
- 100 光バスクロスコネクタ
- 101 モジュール
- 102 波長群送出口
- 103 合流型スイッチ
- 110 入力伝送路ファイバ
- 120 出力伝送路ファイバ
- 200 波長監視装置
- 210 カプラ
- 220 波長監視回路
- 230 光スイッチ
- 310 パス接続制御部
- 320 接続テーブル

330 波長制御回路部

331 電気スイッチ

332 波長制御回路

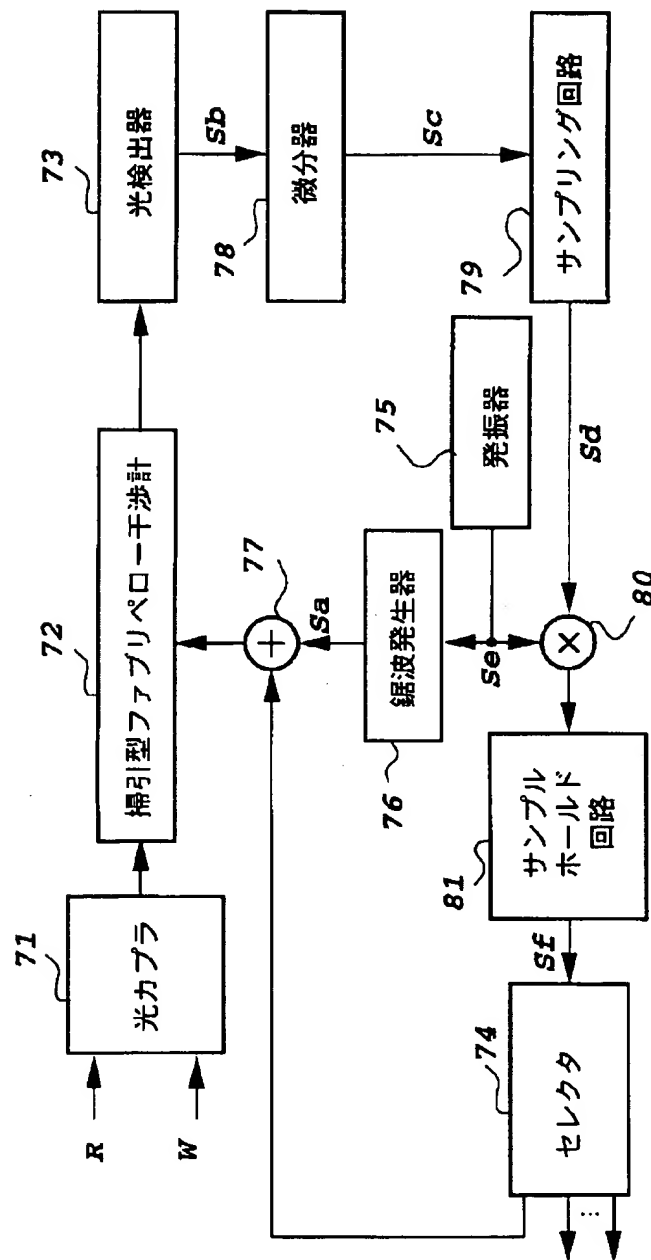
W-D 波長多重分離装置 (波長デマルチプレクサ)

OR 波長受信部 (オプティカル・レシーバ)

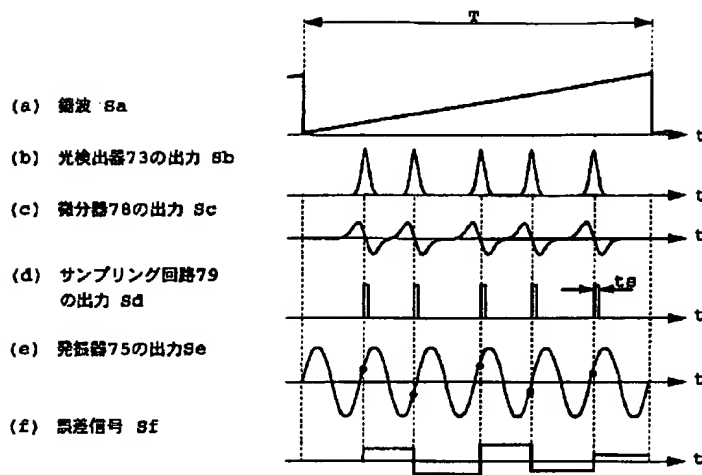
OS 波長送出部 (オプティカル・セnder)

SC スターカプラ

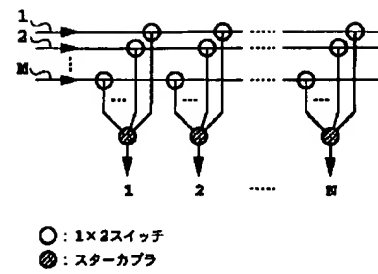
【図1】



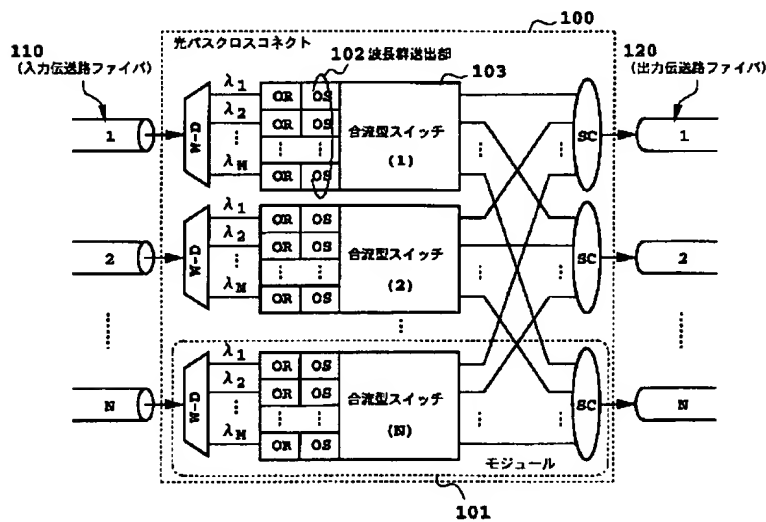
【図2】



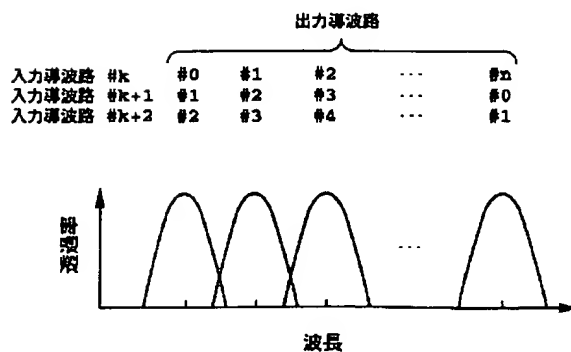
【図4】



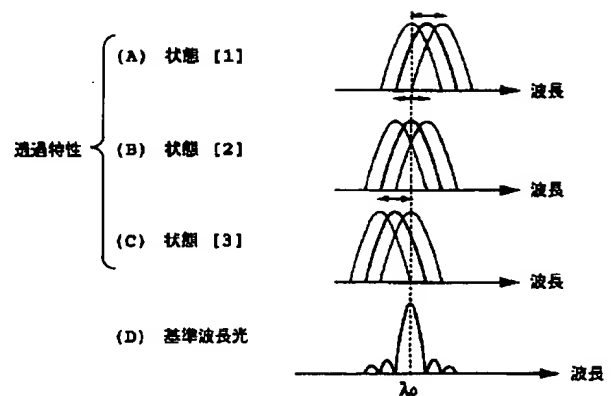
【図3】



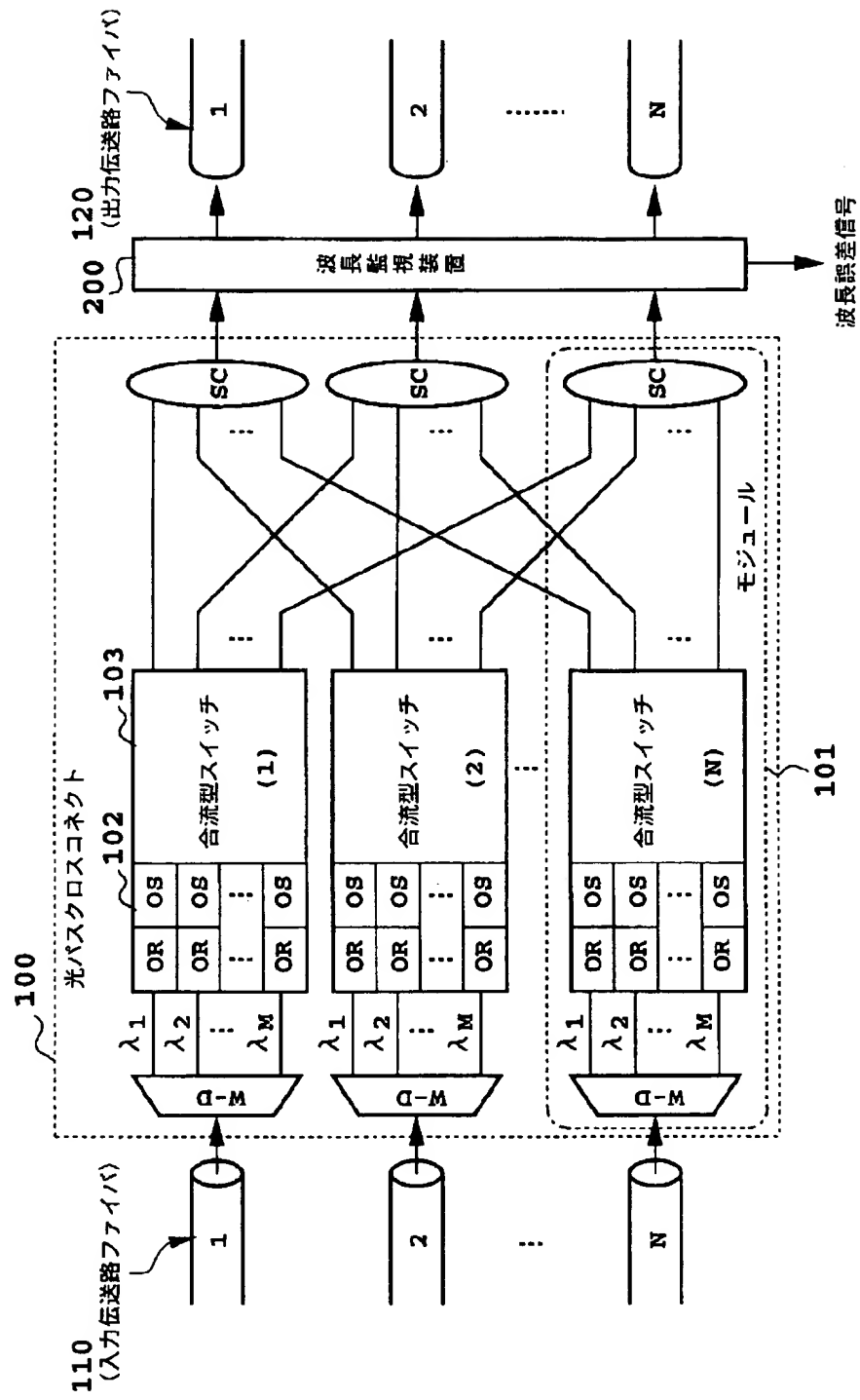
【図12】



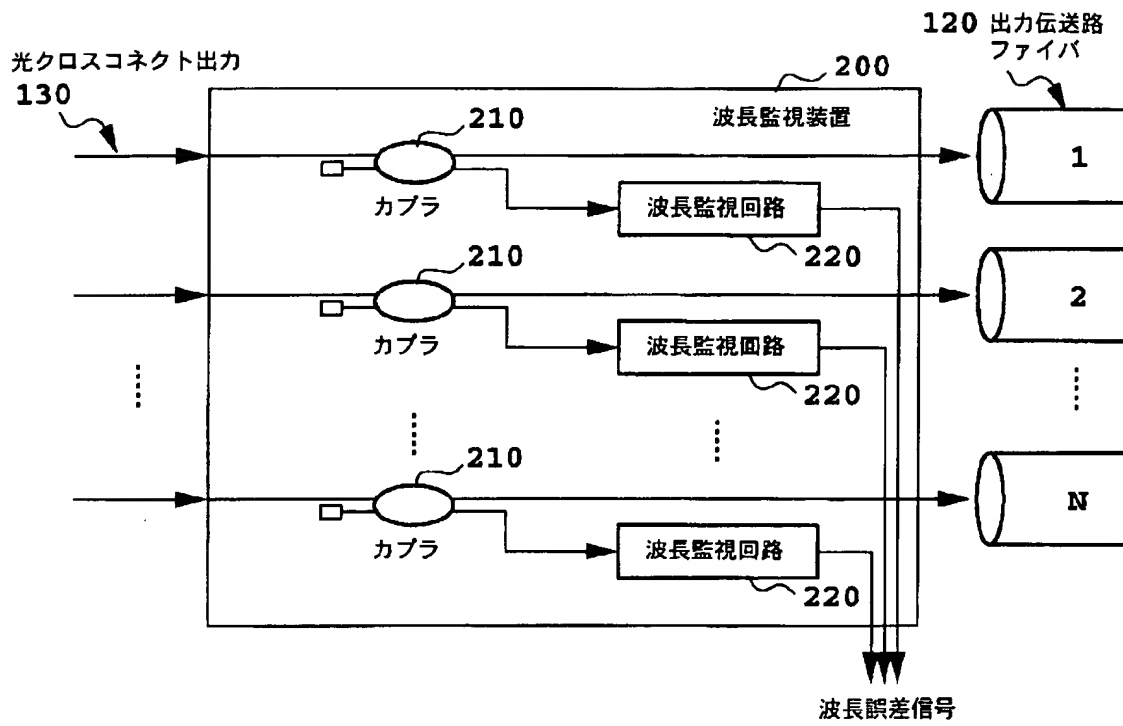
【図13】



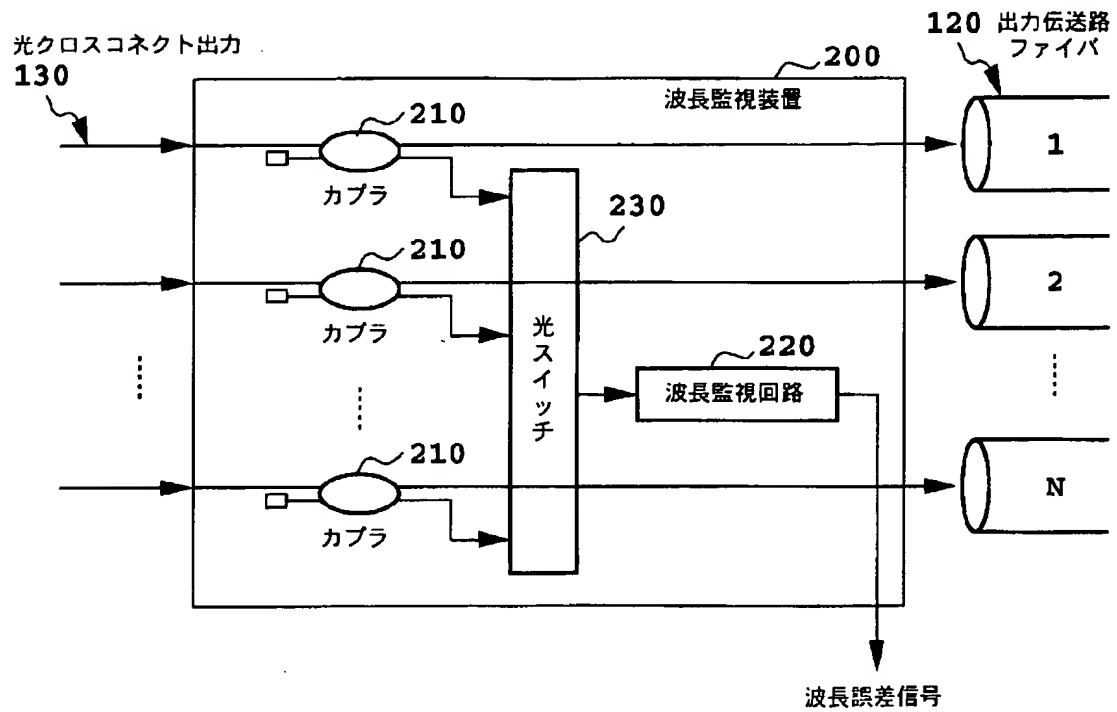
【図5】



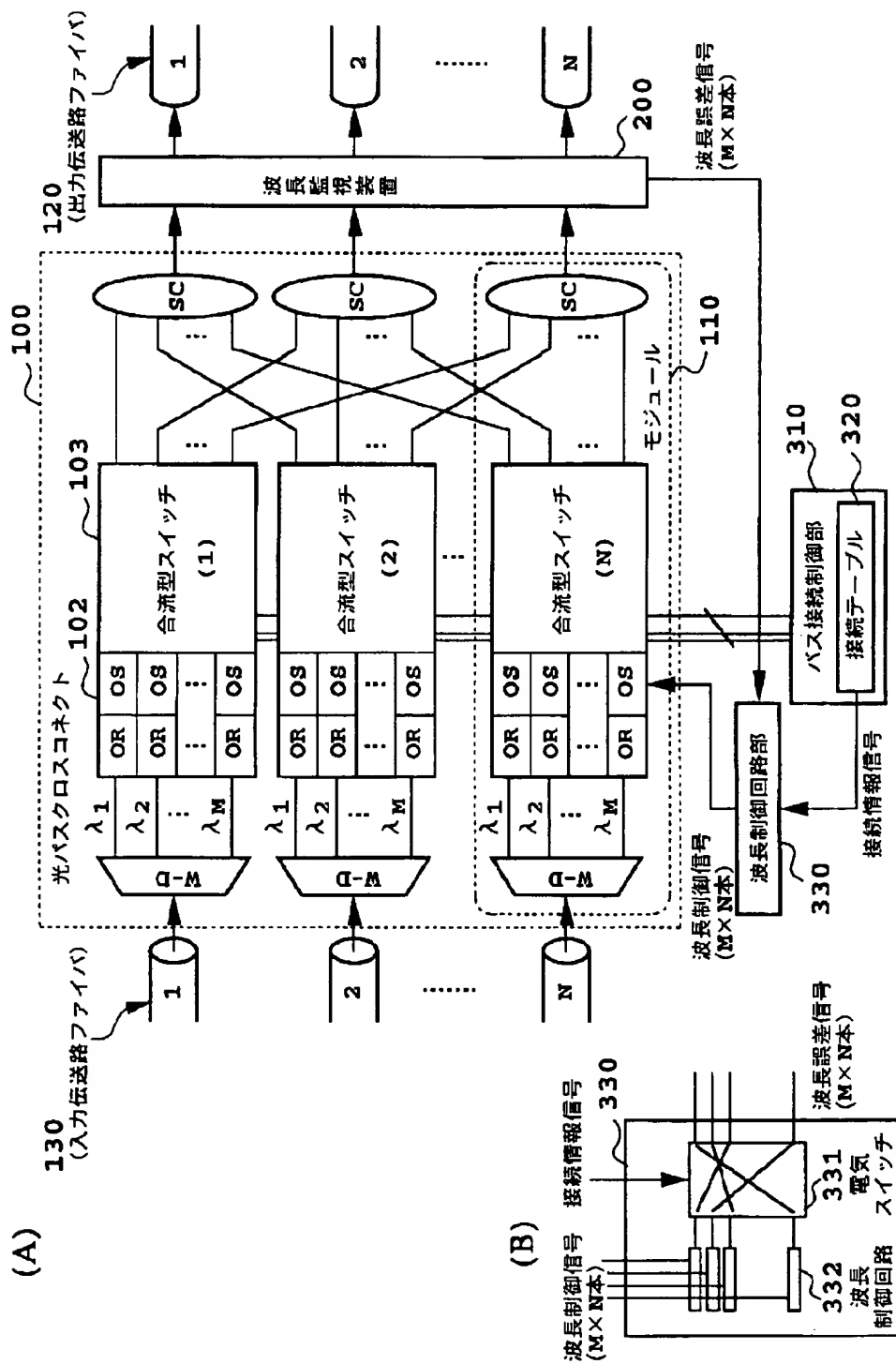
【図6】



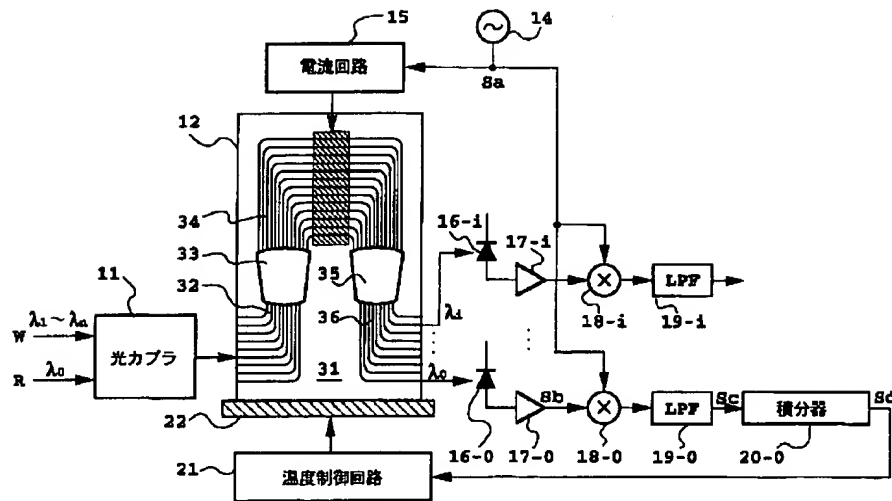
【図7】



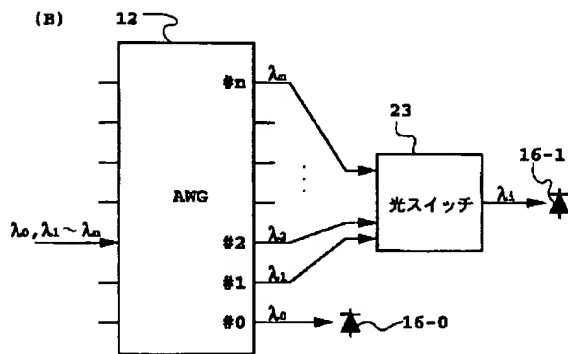
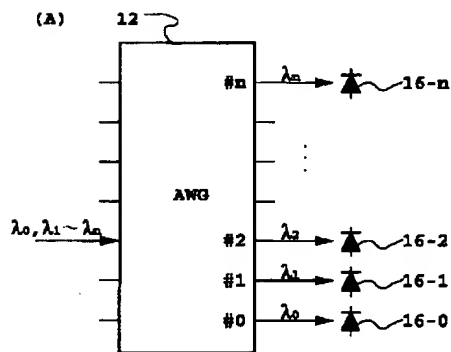
【図8】



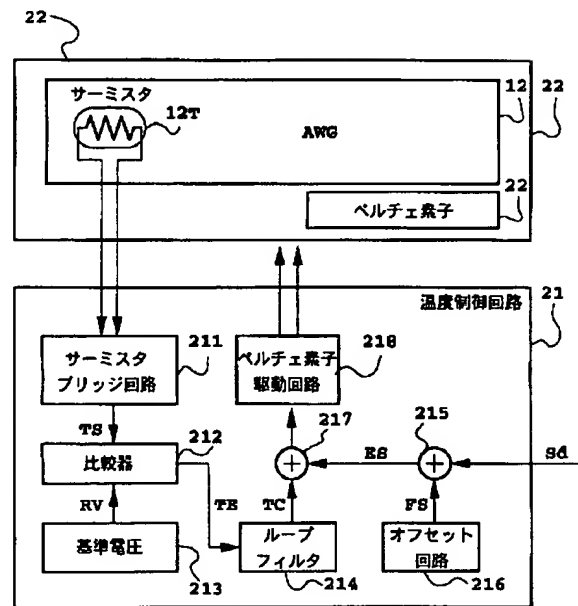
【図9】



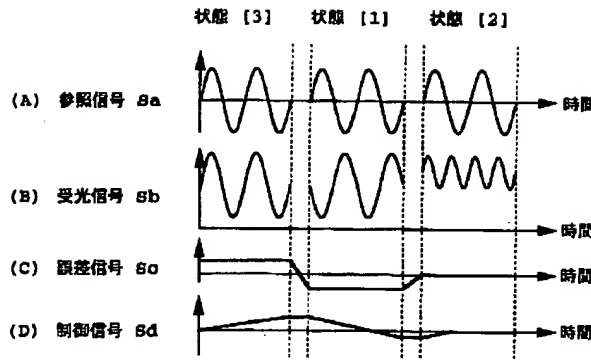
【図10】



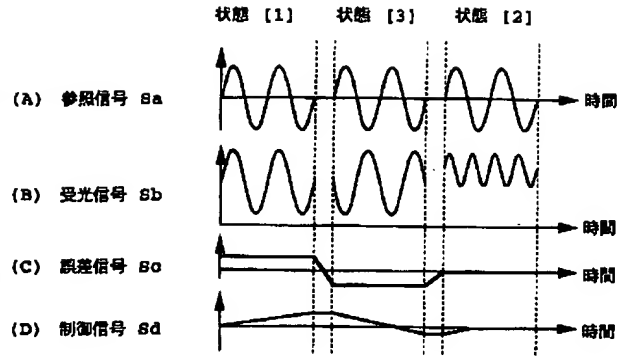
【図11】



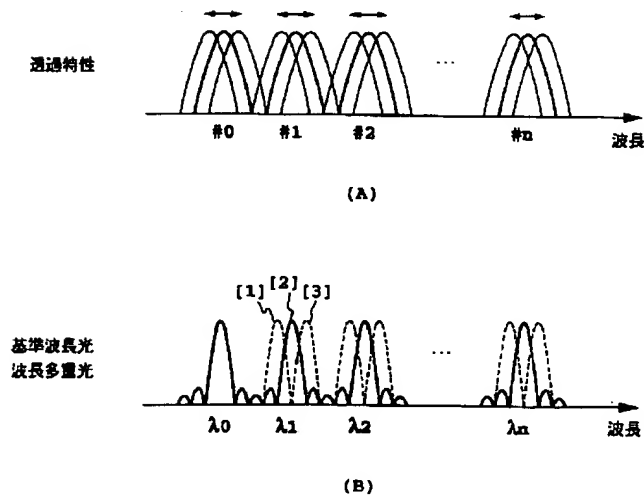
【図14】



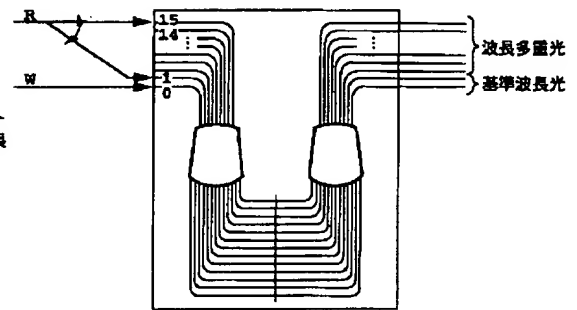
【図18】



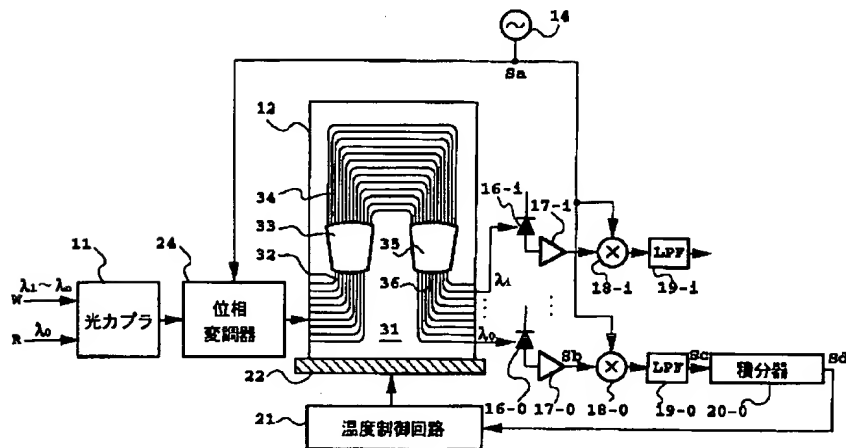
【図15】



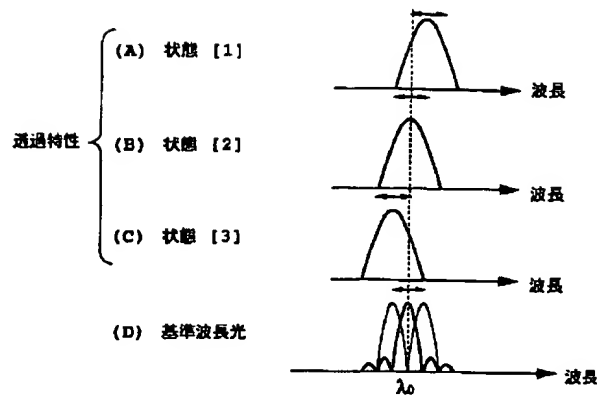
【図33】



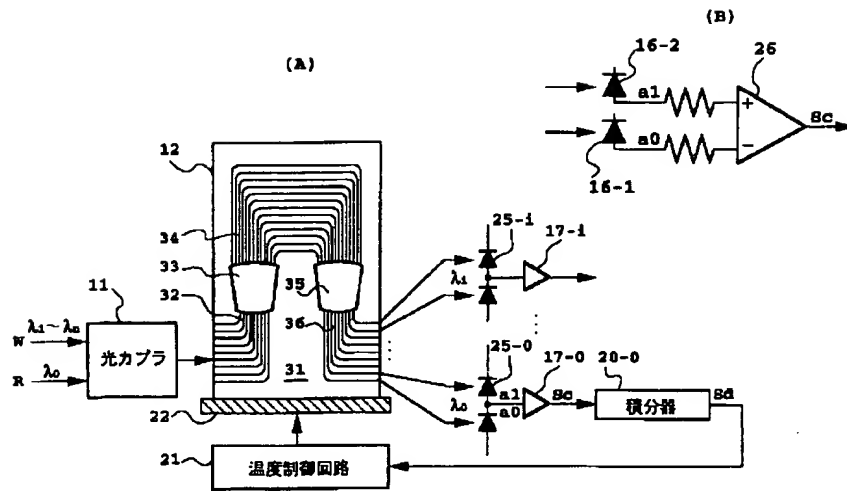
【図16】



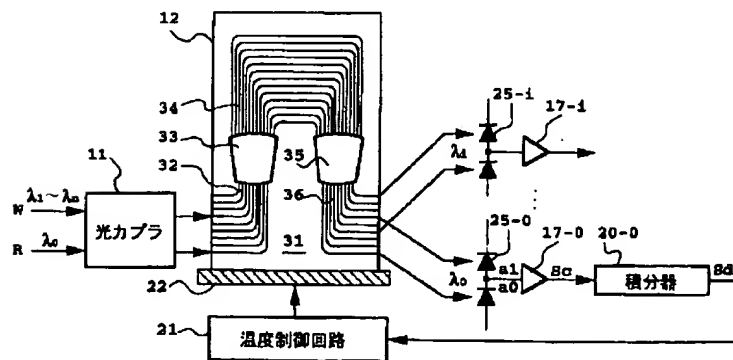
【図 1 7】



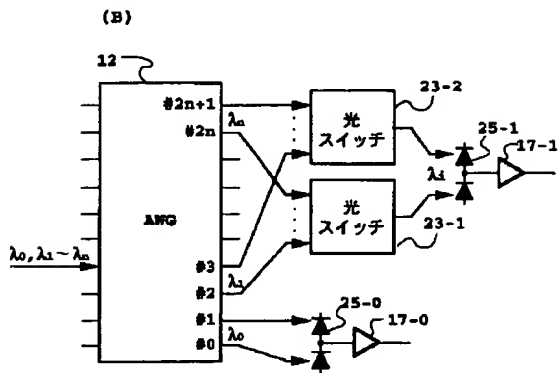
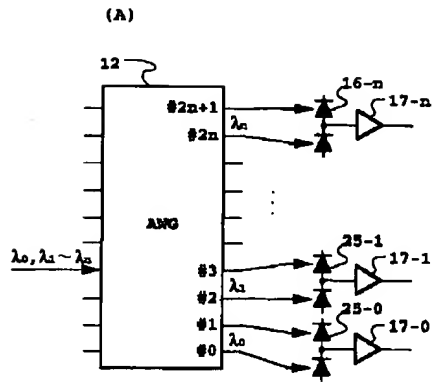
【図 1 9】



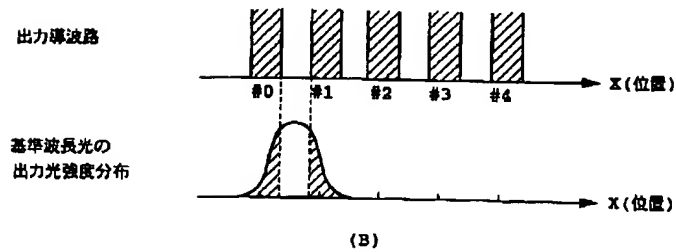
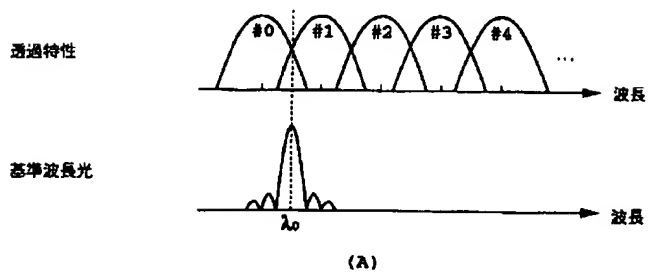
【図 2 3】



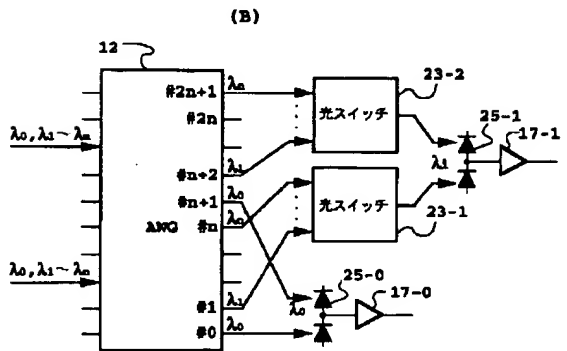
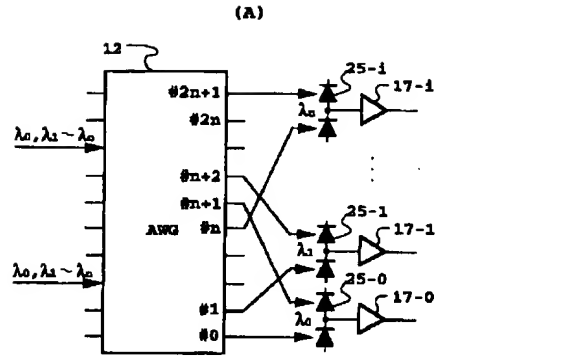
【図20】



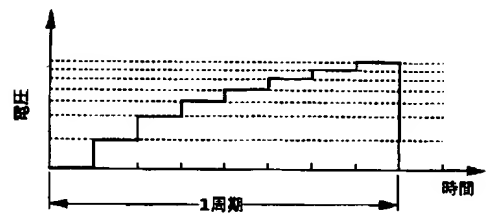
【図21】



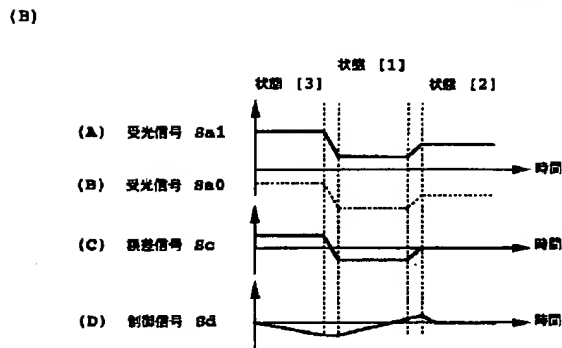
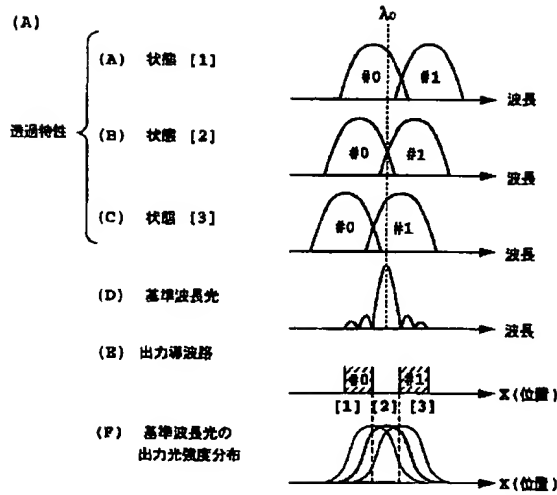
【図24】



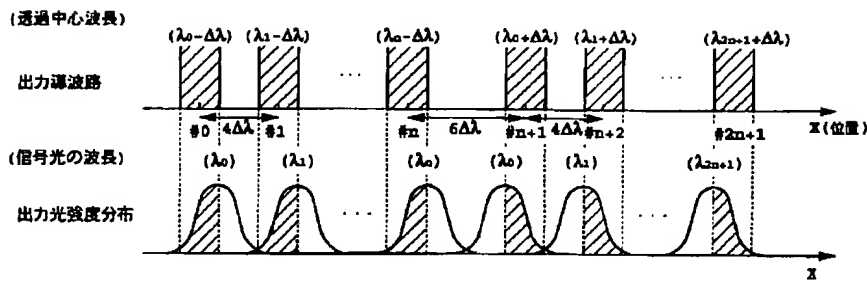
【図40】



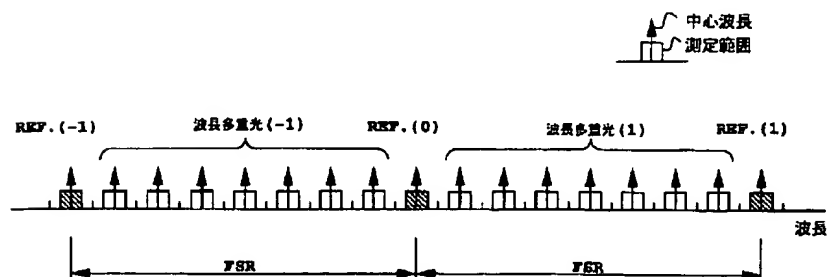
【図 2 2】



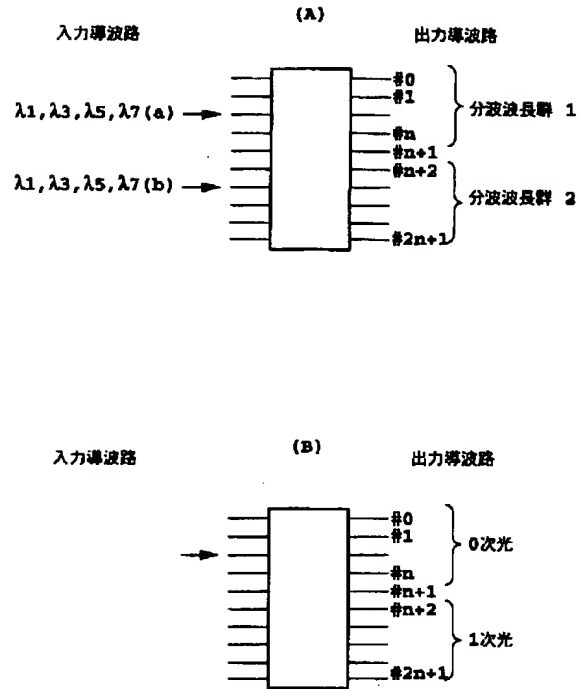
【図 2 5】



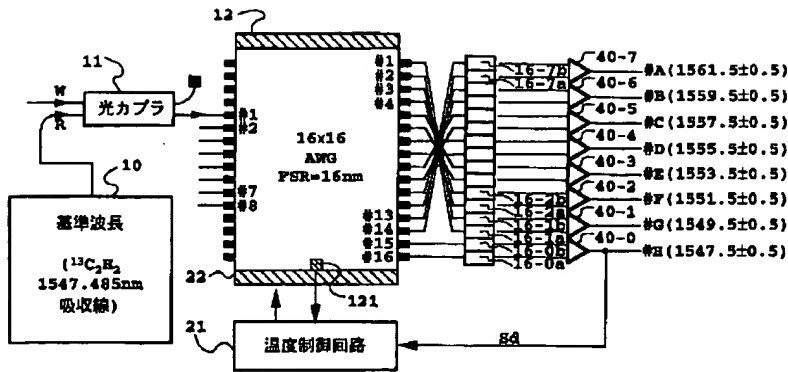
【図 3 4】



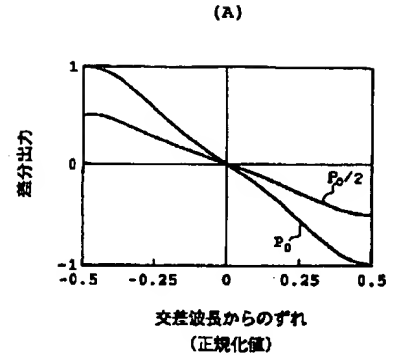
【図 2 6】



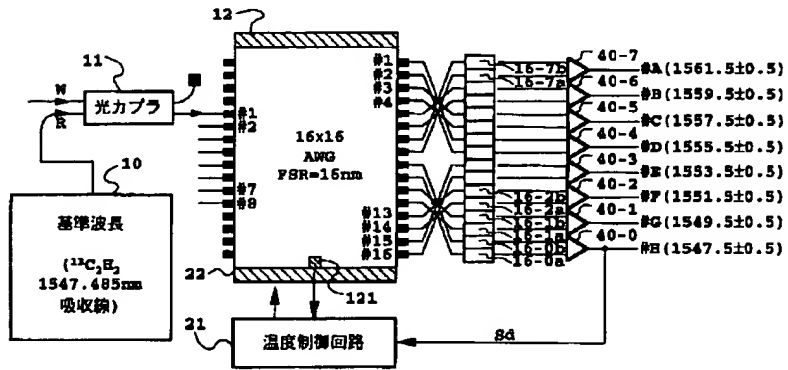
【図 27】



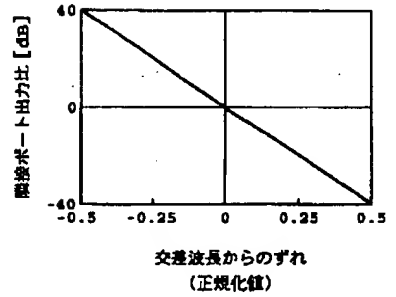
【図 31】



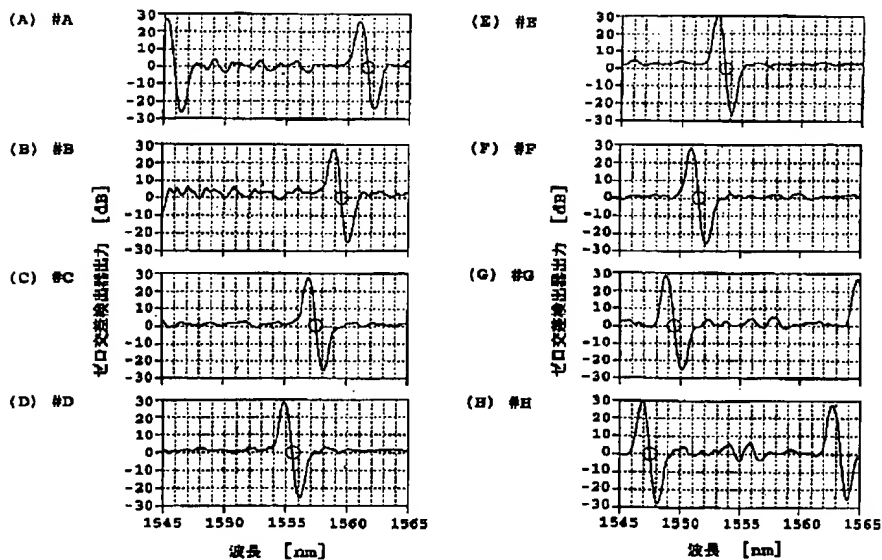
【図 28】



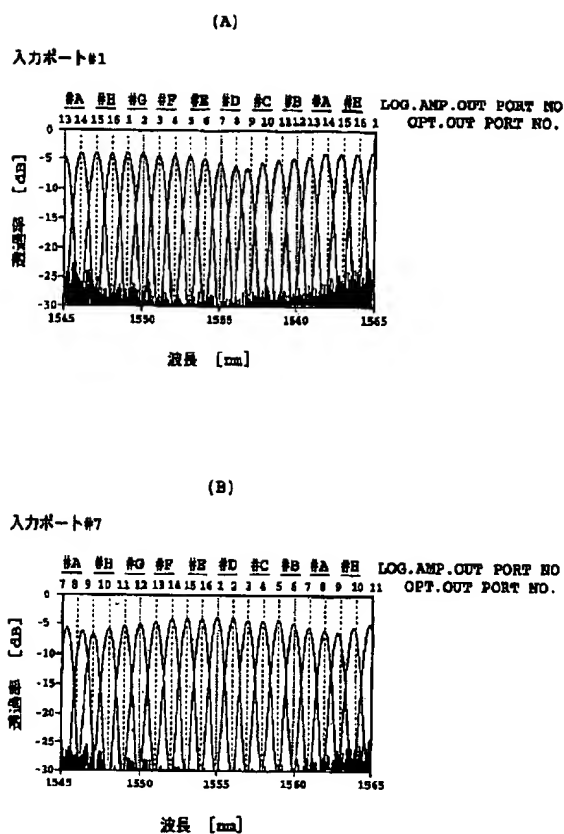
(B)



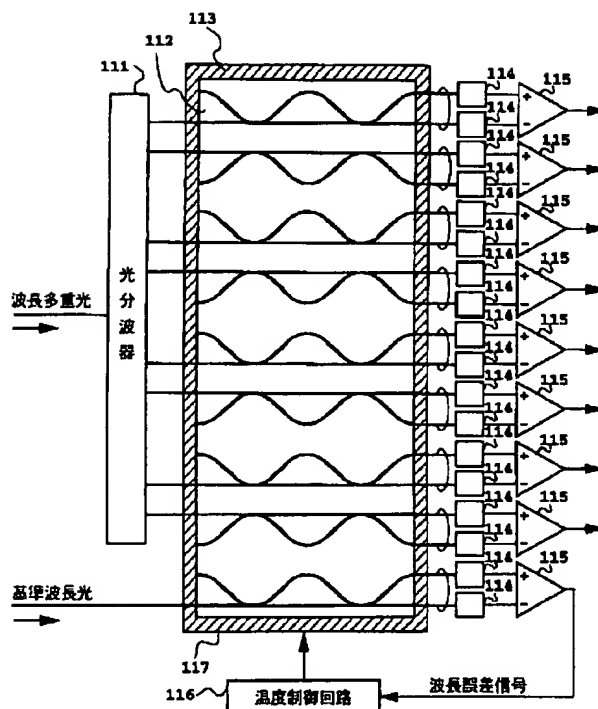
【図 30】



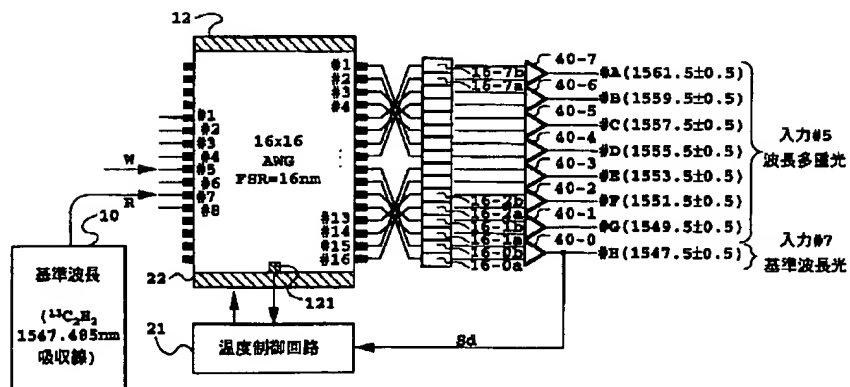
【図 2 9】



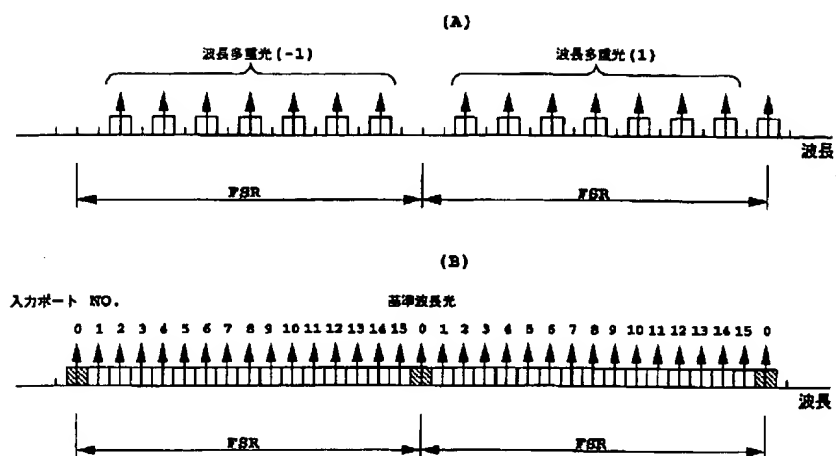
【図 3 7】



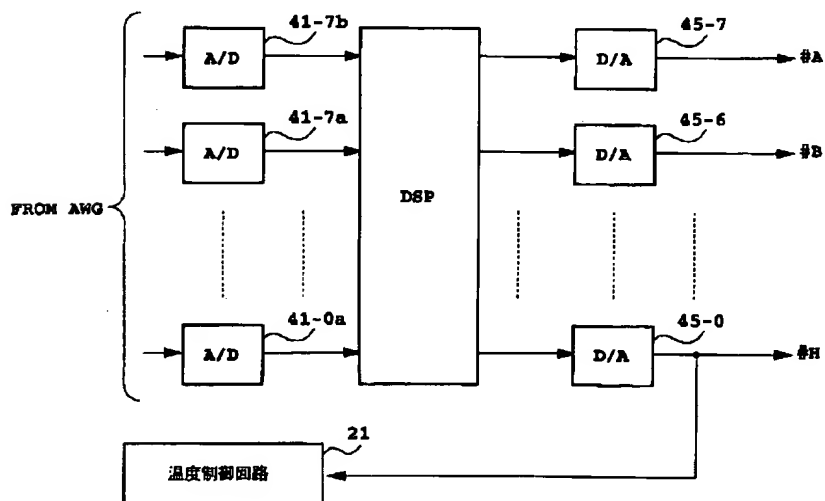
【図 3 2】



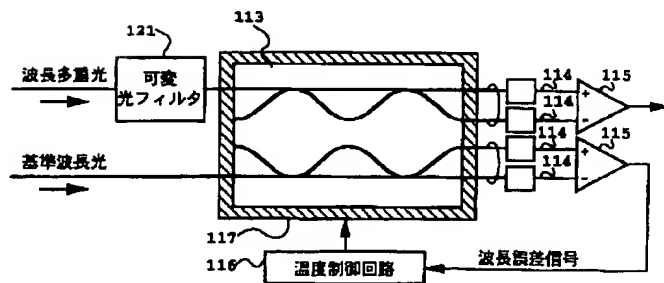
【図35】



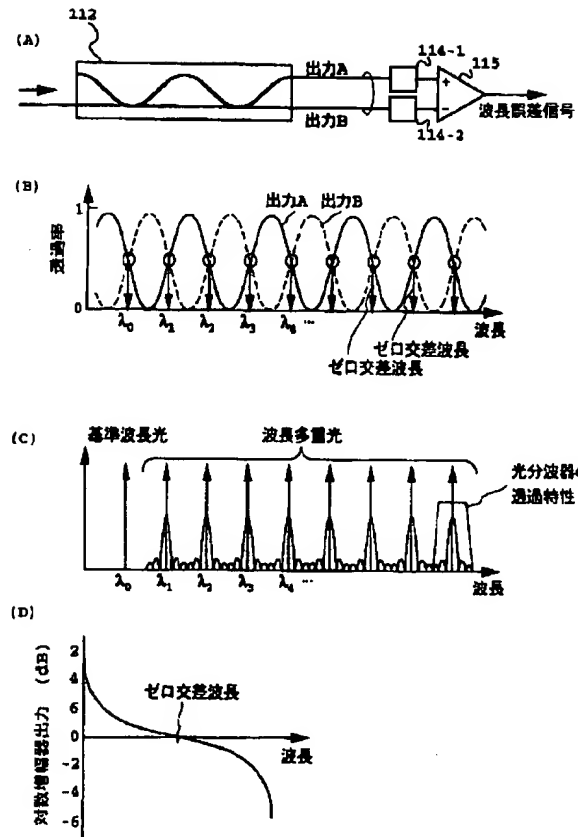
【図36】



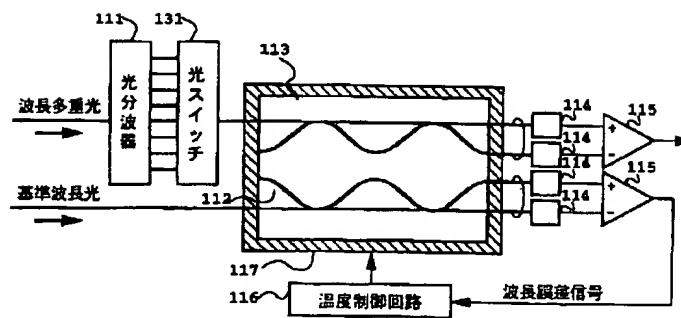
【図39】



【図38】



【図41】



【図 4 2】

